



Diogo André dos Santos Cordeiro

Licenciado em Engenharia Informática

ARZombie - Estudo e desenvolvimento de aplicações de realidade aumentada para *tablet*

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Informática

Orientador : Nuno Correia, Prof. Dr., Faculdade de Ciências e
Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa

Co-orientador : Rui Jesus, Prof. Dr., Instituto Superior de Engenharia de Lisboa

Júri:

Presidente: Prof. Dr. José Augusto Legatheaux Martins

Arguente: Prof. Dr. Rui Filipe Fernandes Prada

Vogal: Prof. Dr. Nuno Manuel Robalo Correia



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Dezembro, 2014

ARZombie - Estudo e desenvolvimento de aplicações de realidade aumentada para *tablet*

Copyright © Diogo André dos Santos Cordeiro, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Aos meus pais

Agradecimentos

Gostaria de agradecer a todas as pessoas que, directa ou indirectamente, contribuíram para a elaboração desta dissertação.

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer aos meus orientadores, o Professor Doutor Nuno Correia e o Professor Doutor Rui Jesus, por me terem dado a oportunidade de explorar e desenvolver sobre este tema da realidade aumentada, pelo excelente apoio e orientação fornecida, pela disponibilidade de tempo, pelas conversas e acima de tudo pelos ensinamentos e conselhos, que foram cruciais para a realização deste projecto.

Gostaria também de agradecer à Fundação para a Ciência e Tecnologia e ao Departamento de Informática da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa (DI - FCT/UNL), em especial ao Centro de Informática e Tecnologias da Informação (CITI), pelo suporte financeiro dado para a realização desta dissertação.

Quero agradecer a todos os meus amigos da memorável sala de mestrado, pelo óptimo espírito de equipa e pela excelente inter ajuda que existia entre nós, dentro e fora dessa sala, pelos vários momentos de animação e de concentração presentes em todos os dias úteis do ano letivo. A todos os outros meus amigos e amigas, muito obrigado pela vossa amizade, paciência e disponibilidade para desabafarem em momentos mais difíceis.

Por fim, também queria agradecer à minha família, em especial aos meus pais, pois sempre me apoiaram e ajudaram, de forma exemplar, durante a realização deste trabalho, mas também ao longo da minha vida.

Resumo

Atualmente o universo das tecnologias móveis encontra-se numa constante e crescente popularização. É possível observar que os dispositivos móveis possuem cada vez mais utilidade e aplicabilidade no dia-a-dia, seja para ajudar os utilizadores no seu trabalho ou como forma de entretenimento. Assim, o interesse pelo desenvolvimento de sistemas de realidade aumentada, em aplicações móveis, tem vindo a aumentar significativamente. Estes sistemas, que integram a realidade com elementos virtuais, proporcionam ao utilizador uma interação fácil e segura, sem necessidade de conhecimento prévio desta tecnologia. Mesmo assim, ainda existem algumas limitações envolvendo questões de iluminação, do alinhamento feito com precisão entre a componente real e virtual e do correto seguimento de características interessantes do mundo real.

Seguindo estas tendências, este trabalho tem como objetivo principal o estudo e o desenvolvimento de aplicações de realidade aumentada. Para este trabalho são utilizados os sistemas de deteção e de reconhecimento de faces como forma de solucionar as limitações mencionadas. Tendo em conta que a realidade aumentada também tem a capacidade de melhorar a experiência de jogo dos utilizadores, pretende-se explorar algumas possibilidades de aplicações de realidade aumentada através do desenvolvimento de um jogo para *tablet*. A solução proposta descreve o jogo ARZombie, onde o objetivo do utilizador é eliminar *zombies* que são detetados através da câmara do dispositivo. Em vez de usar marcadores, como forma de seguimento e alinhamento dos *zombies*, este jogo incorpora um sistema que integra a tecnologia de realidade aumentada com um sistema de deteção e reconhecimento facial, contribuindo na interação do jogador com a realidade e permitindo aumentar a experiência de utilização. O sistema implementado foi testado com utilizadores para avaliar esta técnica de interação e os

componentes deste sistema foram avaliados relativamente ao seu desempenho, a fim de garantir a melhor experiência de jogo possível.

Palavras-chave: Realidade Aumentada, Dispositivos Móveis, Aplicações Móveis, Jogos, Detecção e Reconhecimento Facial.

Abstract

The universe of mobile technologies is in a constant and growing popularity. It is possible to see that mobile devices have increasingly demonstrated their usefulness and applicability in a daily basis, to assist users in their work or as a form of entertainment. As a result, the interest in implementing augmented reality applications on mobile systems has increased significantly. These systems, which integrate reality with virtual elements, provide the user with an easy and safe interaction, without prior knowledge of this technology. Even so, there are still some limitations involving lighting issues, accurate alignment between real and virtual components and the correct tracking of interesting features in the real world.

Following these trends, the proposed solution aims to study and develop mobile augmented reality applications. For this study, face detection and recognition systems were used in order to address the limitations mentioned. Given that augmented reality also has the ability to improve user gaming experience, the intention is to explore some possibilities of augmented reality applications, by developing a game for tablet devices. The proposed solution describes the ARZombie game, where the objective of the user is to eliminate zombies that are detected through the camera of the device. Instead of using markers, as a way to track and align zombies, this game incorporates a system that integrates the augmented reality technology with a detection and facial recognition system, contributing to the interaction of the player with the real world and enhancing the user experience. The implemented system was tested with users to evaluate the interaction proposals and its components were evaluated regarding the performance, in order to ensure a better gaming experience.

Keywords: Augmented Reality, Mobile Devices, Mobile Applications, Games, Face Detection and Recognition.

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Motivação	2
1.2	Descrição e contexto	3
1.3	Solução proposta	3
1.4	Contribuições	4
1.5	Organização do documento	5
2	Trabalho relacionado	7
2.1	Realidade aumentada	7
2.1.1	Dispositivos de visualização	8
2.1.2	Técnicas de seguimento	11
2.1.3	Limitações	14
2.1.4	Discussão	17
2.2	Deteção e reconhecimento facial	18
2.2.1	Deteção de faces	18
2.2.2	Normalização de faces	20
2.2.3	Reconhecimento de faces	21
2.2.4	Discussão	22
2.3	Jogos	22
2.3.1	Dispositivos móveis	22
2.3.2	Experiência de jogo	24
2.3.3	Discussão	28
3	ARZombie	29
3.1	Conceito	29
3.2	Sistema	31

3.2.1	Deteção e reconhecimento de faces	32
3.2.2	Realidade aumentada	40
3.3	Jogo	48
3.3.1	Modo <i>single player</i>	49
3.3.2	Modo de treino	52
3.3.3	Opções	54
4	Testes e resultados experimentais	57
4.1	Deteção de faces	57
4.1.1	Análise dos dados	58
4.2	Reconhecimento facial	61
4.3	Usabilidade	64
4.3.1	Recolha de dados	64
4.3.2	Análise dos dados	65
4.4	Discussão	70
5	Conclusões e trabalho futuro	73
5.1	Conclusões	73
5.2	Trabalho futuro	74
5.2.1	Google Glass	74
5.2.2	Algoritmo dinâmico	75
5.2.3	Interface gráfica	75
A	Questionário	85
B	Resultados	91

Lista de Figuras

1.1	Diagrama dos vários componentes do jogo.	4
2.1	Diagrama conceptual de um dispositivo de visualização de ótica transparente [Azu97].	9
2.2	Diagrama conceptual de um dispositivo de visualização por vídeo [Azu97].	10
2.3	Exemplo da utilização de um sistema de visualização baseado em projecção [Plalt].	11
2.4	Exemplos de marcadores [JTV12].	13
2.5	Dispositivo Google Glass.	17
2.6	Dispositivo utilizado no jogo ARQuake [TCDSBP02].	25
2.7	Esquema do jogo "Collaborative billiARds" [SFLRW05].	26
3.1	Recorde pessoal do utilizador.	31
3.2	Arquitetura do jogo ARZombie.	32
3.3	Fluxograma do componente de deteção de faces.	33
3.4	Aplicação com capacidade de detetar a cara e os olhos das pessoas.	34
3.5	Processo de deteção dos olhos através de contornos.	36
3.6	Aplicação com capacidade para detetar os olhos das pessoas através de contornos.	37
3.7	Fase de normalização da face detetada.	38
3.8	Fluxograma do componente de treino do reconhecimento de faces.	39
3.9	Fluxograma do componente de reconhecimento de faces.	41
3.10	Aplicação que integra a deteção facial com o Metaio.	43
3.11	Aplicação que integra a deteção facial com o OpenGL, através de um modelo 3D simples.	44
3.12	Seguimento feito pelo jogo ARZombie.	45

3.13	Resultado do alinhamento entre a face da pessoa e o modelo virtual.	46
3.14	Utilização do jogo ARZombie ao ar livre.	47
3.15	Utilização do jogo ARZombie num corredor.	47
3.16	Menu principal da aplicação ARZombie.	48
3.17	Um esboço da interface do jogo.	49
3.18	Interface do jogo ARZombie.	50
3.19	Deteção de um <i>zombie</i> no decorrer do jogo.	51
3.20	Presença de um bónus no ecrã do jogo.	52
3.21	Menu de treino do jogo ARZombie.	53
3.22	Processo de treino do jogo ARZombie.	53
3.23	Aviso de eliminação do modelo de treino existente na aplicação. . .	54
3.24	Várias opções disponíveis no jogo ARZombie.	55
4.1	Deteção sem sucesso do algoritmo que deteta os olhos através de contornos.	59
4.2	Dimensão das faces detetadas através do algoritmo baseado num classificador.	60
4.3	Dimensão das faces detetadas através do algoritmo baseado em contornos.	60
4.4	Dimensão das faces detetadas através do algoritmo que não deteta os olhos.	61
4.5	Satisfação geral dos utilizadores face ao jogo ARZombie.	66
4.6	Facilidade de interação com o jogo ARZombie.	66
4.7	Facilidade de movimentação durante a utilização do jogo.	67
4.8	Facilidade em detetar os <i>zombies</i> no decorrer do jogo.	68
4.9	Distração relativamente aos elementos presentes no ecrã do jogo. .	69
4.10	Facilidade em ativar os bónus no decorrer do jogo.	69
4.11	Equilíbrio na atribuição de pontos e na remoção de vida.	70
B.1	Questionário - Idade.	92
B.2	Questionário - Sexo.	92
B.3	Questionário - Familiarização com jogos de realidade aumentada. .	92
B.4	Questionário - É fácil aprender a jogar.	93
B.5	Questionário - É fácil interagir com o jogo.	93
B.6	Questionário - Adaptou-se facilmente ao jogo.	93
B.7	Questionário - É necessário ajuda para interagir com a aplicação. .	94
B.8	Questionário - A aplicação está bem estruturada.	94

B.9	Questionário - Foi capaz de se movimentar livremente no decorrer no jogo.	94
B.10	Questionário - As interações com o jogo são naturais.	95
B.11	Questionário - Os aspetos visuais envolveram-no durante o jogo. .	95
B.12	Questionário - Os aspetos sonoros envolveram-no durante o jogo. .	95
B.13	Questionário - Estava ciente da informação presente no ecrã do dispositivo.	96
B.14	Questionário - Os elementos visíveis presentes no ecrã no decorrer do jogo eram distrativos.	96
B.15	Questionário - Concentrou-se mais no jogo e não na forma de disparar.	97
B.16	Questionário - Os <i>zombies</i> são facilmente detetados enquanto se deslocam no cenário.	97
B.17	Questionário - Os bónus são facilmente detetados quando surgem no cenário.	98
B.18	Questionário - Foi capaz de eliminar <i>zombies</i> sem dificuldades. . . .	98
B.19	Questionário - Foi capaz de ativar os bónus sem dificuldades. . . .	99
B.20	Questionário - É confortável utilizar o modo de disparo automático.	99
B.21	Questionário - É confortável utilizar o modo de disparo manual. . .	99
B.22	Questionário - É equilibrada a forma como se ganham pontos e se perde vida.	100
B.23	Questionário - O nível de dificuldade do jogo é adequado.	100
B.24	Questionário - A aplicação responde rapidamente.	100
B.25	Questionário - Houve alguma demora entre as suas interações e a resposta a nível do jogo.	101
B.26	Questionário - Satisfação geral com o jogo.	101

Lista de Tabelas

4.1	Resultados obtidos pelos três algoritmos de detecção de faces.	58
4.2	Resultados obtidos pelo algoritmo de reconhecimento facial baseado num classificador.	62
4.3	Resultados obtidos pelo algoritmo de reconhecimento facial baseado em contornos.	62
4.4	Resultados obtidos pelo algoritmo de reconhecimento facial que não deteta os olhos.	63
4.5	Representação dos conceitos de <i>hit</i> e <i>miss</i> numa tabela.	63



Introdução

A introdução de novos dispositivos móveis tem crescido a um ritmo bastante forte na sociedade moderna, podendo-se observar que muito recentemente a venda de *smartphones* superou a dos telemóveis tradicionais [Grelt].

Atualmente, esta tecnologia está a mudar a forma como as pessoas interagem entre si e com o mundo, tendo a capacidade de conjugar as funções de um telemóvel, computador, máquina fotográfica, câmara de vídeo e GPS num só equipamento. Também tem vindo a ser utilizada de forma ubíqua [BBRS06], ou seja, já é omnipresente no quotidiano das pessoas. Deste modo, estes aparelhos podem ser uma das plataformas dominantes no desenvolvimento e comercialização de aplicações de realidade aumentada.

O conceito de realidade aumentada surge com o objetivo de enriquecer o ambiente real com objetos virtuais gerados computacionalmente. Esta tecnologia pode ser integrada por meio de dispositivos, como os computadores e dispositivos móveis, que permitem a utilização desse recurso como uma nova forma de interação atrativa e inovadora. A realidade aumentada pode ser útil em qualquer aplicação que necessite de mostrar informação não disponível ou não detetável diretamente pelos sentidos do ser humano. Desta forma, ao tornar-se visível, é possível aumentar a sensação de realismo desta tecnologia.

Imaginemos uma situação em que uma pessoa, num contexto turístico, necessita de saber informação sobre um monumento. Essa informação será rapidamente fornecida através da utilização de dispositivos móveis pessoais, apontando as câmaras destes equipamentos para o monumento em questão. No ecrã

serão apresentados elementos virtuais que ajudam a informar o utilizador. Desta forma, o desenvolvimento de novas aplicações de realidade aumentada para dispositivos móveis poderá tornar a experiência do utilizador mais rica.

1.1 Motivação

Com a disponibilidade de dispositivos com processadores cada vez mais potentes no mercado a um custo acessível e com a integração de unidades de processamento gráfico nesses equipamentos, é possível observar que tanto a realidade aumentada como os dispositivos móveis são consideradas duas inovações tecnológicas em crescente evolução. Desta forma, existe uma motivação para o estudo e desenvolvimento de aplicações móveis de realidade aumentada.

A interligação desses componentes traz benefícios em diversas áreas da atividade humana. São oferecidas várias possibilidades de aplicações que modificam a percepção da realidade e que aumentam a interação do utilizador com o espaço físico envolvente. A aplicação da realidade aumentada na área de entretenimento pode ser uma mais-valia no que diz respeito ao enriquecimento da experiência de utilização de jogos. A interação com os jogos pode ser interessante, tanto pela diversão que proporcionam, como pelo estímulo intelectual que alguns jogos proporcionam. Assim, a realidade aumentada adapta os jogos virtuais, existentes num computador, para o ambiente real que envolve o utilizador, permitindo a sua manipulação direta utilizando as mãos ou objetos simples presentes na realidade. Nesta situação, os jogos ganham uma nova dimensão, através da maior capacidade de visualização e interação com os elementos virtuais. Estes elementos estão dispostos no espaço tridimensional e podem emitir sons ou apresentar animações.

Também o facto de atualmente a tecnologia de realidade aumentada ainda ser considerada uma novidade e não ter sido totalmente explorada, quando aplicada a dispositivos móveis, torna aliciante a pesquisa e o desenvolvimento nesta área.

A implementação de aplicações de realidade aumentada apresenta-se como um desafio, uma vez que requerem o uso de técnicas computacionais que ainda hoje apresentam desafios de investigação. Isto acontece, por exemplo, na recolha de características ou deteção de marcadores presentes no mundo real e na inserção dos objetos virtuais perfeitamente alinhados com o cenário real.

1.2 Descrição e contexto

Um dos objetivos fundamentais desta dissertação é a análise da tecnologia de realidade aumentada, através do seu estudo e do desenvolvimento de um jogo para *tablet*. Com a implementação deste jogo exploram-se possibilidades de interação e limitações desta tecnologia.

Desta forma, espera-se aplicar os conhecimentos adquiridos nesta área, de modo a definir uma abordagem para o desenvolvimento de aplicações de realidade aumentada, para dispositivos móveis, que forneçam ao utilizador uma boa experiência de utilização.

A ideia do jogo é interligar os jogadores, as pessoas e o mundo real através de elementos virtuais. O jogo tem a seguinte proposta inicial de interação:

- O jogador passeia num espaço físico, por exemplo, por um *campus* universitário;
- Através da câmara de vídeo, que está integrada no dispositivo móvel pessoal, o jogador vai analisando as pessoas que se vão cruzando com ele;
- O sistema de jogo verifica se as pessoas detetadas são *zombies* ou não;
- Se as pessoas forem reconhecidas pelo sistema, é apresentada no ecrã uma criatura virtual, gerada por computador, sobreposta às pessoas em questão;
- O jogador tem como objetivo eliminar os *zombies*, disparando sobre eles, de forma a ganhar pontos.

A aplicação será desenvolvida para o sistema operativo Android que é um dos mais vendidos em todo o mundo, estando presente em cada 4 de 5 *smartphones* [G11t]. O sistema será capaz de detetar as faces das pessoas que se encontram no campo de visão da câmara e reconhecer se pertencem ao grupo dos *zombies*, de acordo com os dados preexistentes na base de dados. Também será utilizado o OpenCV (uma biblioteca de visão computacional para auxiliar no processamento de imagens provenientes da câmara de vídeo) e ferramentas 3D, como o OpenGL, para utilizar na construção de elementos virtuais.

1.3 Solução proposta

O jogo integra vários componentes, tal como apresentado na figura 1.1.

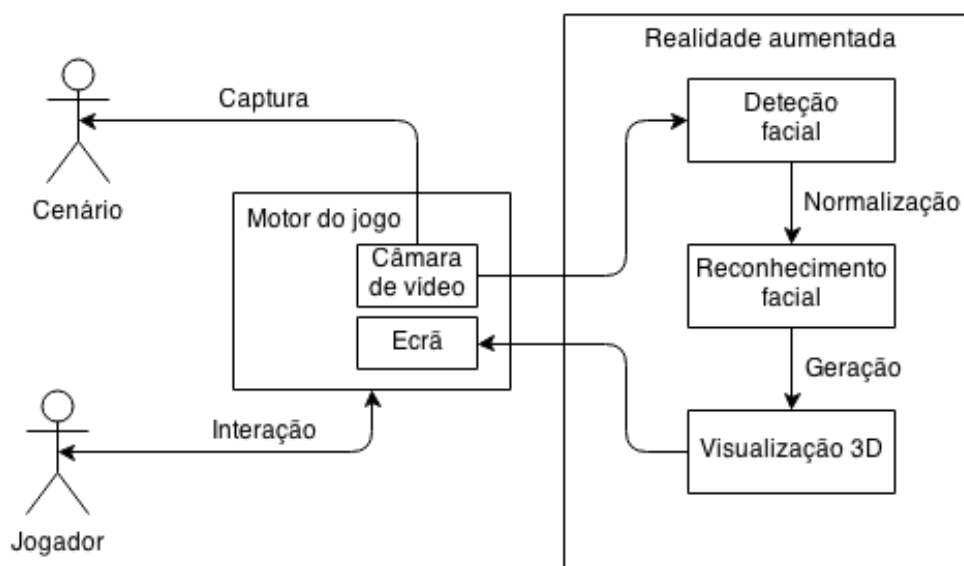


Figura 1.1: Diagrama dos vários componentes do jogo.

Ao iniciar o jogo, a câmara de vídeo começa a capturar o cenário. As imagens obtidas são analisadas pelo componente de deteção de faces que irá verificar a existência de pessoas ao alcance da câmara. Se forem detetadas, é necessário verificar se pertencem ao grupo dos *zombies* ou não. Como tal, as faces encontradas passam por uma fase de normalização, como forma de pré-tratamento para o próximo componente. O módulo de reconhecimento de faces contém um algoritmo que será capaz de classificar se as faces normalizadas estão inseridas na classe dos *zombies* ou não. Se existirem *zombies*, o componente de realidade aumentada tem como função gerar os elementos virtuais corretamente alinhados com a face em questão e apresentá-los no ecrã do *tablet*.

1.4 Contribuições

As principais contribuições desta tese são:

- **Desenvolvimento de um jogo de realidade aumentada em dispositivos móveis**

No âmbito deste trabalho é realizado o estudo e desenvolvimento de uma aplicação para *tablet* capaz de integrar a realidade com elementos virtuais, propondo soluções para ultrapassar as limitações que surgem na implementação desta tecnologia.

- **Adaptação e desenvolvimento de um algoritmo de deteção e reconhecimento facial em dispositivos móveis**

Neste trabalho é desenvolvido e adaptado um algoritmo de detecção e reconhecimento de faces capaz de fornecer aos utilizadores uma técnica de interação alternativa, face aos existentes. Quando aplicado ao conceito de realidade aumentada, esta abordagem utiliza o sistema implementado como forma de interação intuitiva entre os utilizadores e a realidade, aumentando a sua experiência de utilização.

- **Orientar a aplicação ao utilizador final**

No final da dissertação, pretende-se que a aplicação desenvolvida seja um produto que forneça aos utilizadores uma forma de interação capaz de manter um bom desempenho ao longo da sua utilização e com a maior eficiência energética possível. Como tal, será necessário realizar testes de usabilidade do sistema de forma a garantir a melhor experiência de jogo possível, principalmente, em termos do controlo sobre as ações feitas através do dispositivo.

Prevê-se também a publicação de artigos científicos sobre o trabalho realizado.

1.5 Organização do documento

Esta tese está organizada nos seguintes capítulos:

- **Capítulo 1 - Introdução**

Apresenta uma visão geral da dissertação, no que diz respeito à motivação, à descrição e contexto do trabalho, à solução proposta e às principais contribuições.

- **Capítulo 2 - Trabalho Relacionado**

Estabelece uma ligação entre os objetivos desta dissertação e o trabalho relacionado. Nesta secção é descrita a realidade aumentada e o seu potencial. São apresentados os tipos de dispositivos de visualização existentes, é efetuado um levantamento das várias técnicas de seguimento existentes e são assinaladas as limitações mais desafiantes desta área. Adicionalmente, é feita uma análise do componente de detecção e reconhecimento facial.

- **Capítulo 3 - ARZombie**

É apresentado o conceito do jogo e é feita uma descrição detalhada do trabalho no âmbito da dissertação. São descritos os vários componentes essenciais da aplicação desenvolvida (detecção e reconhecimento facial e realidade

aumentada) e também é demonstrado o funcionamento do jogo e os vários modos de interação disponíveis.

- **Capítulo 4 - Testes e resultados experimentais**

São apresentados e analisados os resultados obtidos da avaliação dos vários algoritmos desenvolvidos para os diferentes componentes do jogo. Nesta secção são testados os componentes de deteção de faces, reconhecimento facial e também são feitos testes de usabilidade à aplicação.

- **Capítulo 5 - Conclusões e trabalho futuro**

Apresenta as conclusões e comentários sobre o trabalho desenvolvido nesta dissertação e são descritas algumas melhorias para trabalho futuro.



Trabalho relacionado

Neste capítulo apresentam-se os conceitos, as técnicas necessárias para o desenvolvimento da solução proposta e os trabalhos mais relevantes relacionados com o tema. O estudo do trabalho relacionado irá abordar, na primeira secção, a área da realidade aumentada, apresentando vários dispositivos de visualização disponíveis e as técnicas de seguimento existentes. Também são analisadas as limitações desta área que impõem desafios na sua utilização. Na segunda secção é feita uma análise dos componentes de deteção e reconhecimento facial.

2.1 Realidade aumentada

A realidade aumentada integra-se num campo específico das ciências da computação e informática que explora a integração ou alteração visual de informação do mundo real com elementos virtuais. Mais concretamente, consiste na sobreposição, realizada por meio de um dispositivo tecnológico, de objetos virtuais tridimensionais (gerados por computador) num ambiente real.

Ao contrário da realidade virtual, que apenas tem como foco a exibição e interação com ambientes puramente virtuais, a realidade aumentada tem como objetivo interligar a realidade com o mundo virtual, permitindo também ocultar elementos presentes na realidade.

Esta tecnologia é definida por R. Azuma [Azu97] como um sistema que combina elementos do mundo real com elementos virtuais, sendo estes últimos concebidos em três dimensões, e que permite a interatividade entre objetos (reais e virtuais) em tempo real. Os elementos virtuais referidos permitem exibir informação que um dado utilizador não consiga detetar diretamente através dos seus próprios sentidos. Os elementos também ajudam esse utilizador a realizar determinadas tarefas definidas pelas aplicações desta tecnologia. Desta forma, a realidade aumentada altera o modo como é visto o mundo, permitindo aumentar a perceção e a interação de um utilizador com a realidade.

Este tipo de interação já é explorado nas mais variadas áreas, sendo um recurso amplamente utilizado em aplicações industriais [NF02] (na montagem, manutenção e reparação de equipamentos complexos), médicas [FLRSCRDM98] (ajudando em operações minimamente invasivas e na condução de tarefas de elevada precisão), de aviação [CFPSAS11] (apresentando marcadores virtuais que definem a pista de aterragem e melhorando a visão do utilizador em situações de fraca visibilidade), militares [LRBSJBIAM11], educativas [Lee12], turismo [FSL05], publicidade [Barlt], entre outros. Além dessas áreas, a realidade aumentada também é aplicada para fins de entretenimento. Muitas dessas aplicações são os jogos de computador.

2.1.1 Dispositivos de visualização

Para ser possível observar e interagir com os elementos que compõem a realidade aumentada são necessários dispositivos de visualização. Estes podem ser classificados de acordo com a sua posição relativamente ao utilizador e ao ambiente real. De acordo com Lieu-Hen Chen *et al.* [CYH08], existem quatro tipos de dispositivos disponíveis que possibilitam a interligação entre o cenário real e os objetos virtuais. Temos equipamentos que são colocados na cabeça (HMD – *Head-mounted display*), que normalmente incorporam uma câmara no respetivo capacete do utilizador. Este tipo de dispositivos proporciona uma maior mobilidade ao utilizador, mas tendem a ser pesados. Outro exemplo é o de um mecanismo portátil, com câmara integrada, que o utilizador facilmente segura nas suas mãos, como por exemplo um *smartphone* ou um *tablet*. Atualmente esta é a melhor forma de introduzir os sistemas de realidade aumentada no mercado devido ao seu baixo custo de produção e facilidade de utilização [VKP10]. Também existem dispositivos que permitem a captura de imagens do cenário real, através de uma câmara, e que são misturadas com os objetos virtuais para serem apresentadas num monitor. Por fim, temos os dispositivos que através de um projetor

apresentam objetos do espaço virtual no mundo real.

A imagem resultante da combinação da realidade aumentada com o que se observa no mundo real pode ser apresentada de várias formas. Como descrito por Feng Zhou *et al.* [ZDB08], existem, essencialmente, três categorias de visualização distintas descritas nas secções em baixo.

2.1.1.1 Sistemas de visualização de ótica transparente

Estes sistemas permitem ao utilizador visualizar o mundo real diretamente através dos seus próprios olhos, ao mesmo tempo que possibilitam a projeção de imagens virtuais devidamente ajustadas à situação real. De forma a ilustrar melhor este tipo de sistema, a figura 2.1 apresenta um esquema gráfico.

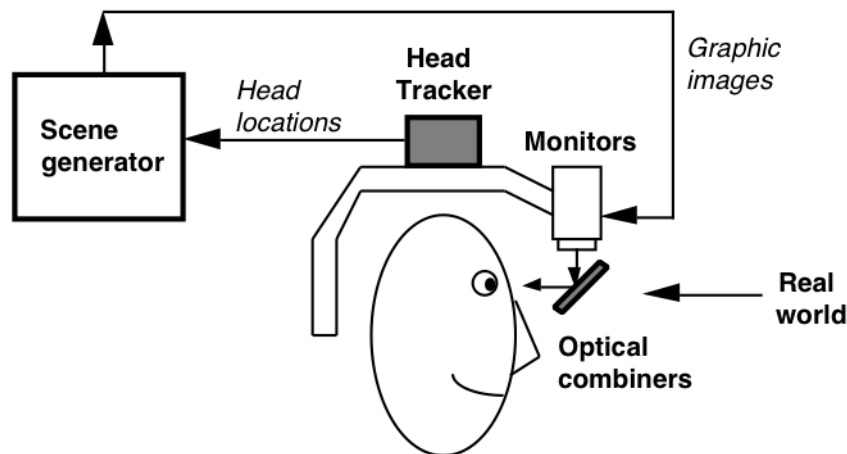


Figura 2.1: Diagrama conceptual de um dispositivo de visualização de ótica transparente [Azu97].

Tal como descrito por D. Van Krevelen e R. Poelman [VKP10], este tipo de visualização não altera a resolução do mundo, permitindo a sua receção de forma direta e instantânea. Também tem a vantagem de garantir a segurança do utilizador, visto que este continua a observar o mundo real numa situação em que o dispositivo fique sem energia.

Contudo, a sobreposição de elementos virtuais através de espelhos ou lentes transparentes reduz o brilho e o contraste em ambas as imagens (real e virtual), diminuindo a perceção da realidade, ou seja, fazendo com que esta técnica seja menos adequada para o uso ao ar livre.

Também é difícil ocultar objetos reais, porque a luz proveniente desses objetos é sempre transmitida através da transparência do material de visualização.

2.1.1.2 Sistemas de visualização por vídeo

Ao contrário dos sistemas apresentado anteriormente, estes sistemas impedem que o utilizador veja o ambiente que o envolve, usando pequenas câmaras de vídeo para capturar o cenário real. Depois de ser capturada, a imagem de vídeo é exibida num ecrã, em tempo real, com os objetos virtuais sobrepostos, gerados por computador. A figura 2.2 ilustra este tipo de sistema.

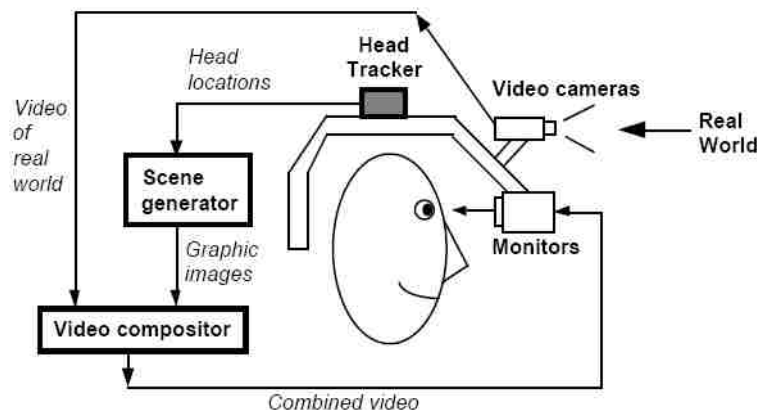


Figura 2.2: Diagrama conceptual de um dispositivo de visualização por vídeo [Azu97].

As vantagens deste tipo de visualização incluem a coerência entre a informação capturada pelas câmaras e os elementos virtuais e a possibilidade de utilização de uma variedade de técnicas de processamento de imagem. Temos como exemplo de processamento de imagens, a correção do brilho e do contraste com o objetivo de apresentar ao utilizador uma imagem de vídeo melhorada.

Por vezes, como forma de interação com o utilizador, é necessário analisar vários elementos presentes no mundo real. Estes elementos podem ou não estar parcialmente ocultos se considerarmos que os utilizadores, ou até mesmo esses elementos, se podem movimentar. Este tipo de sistema consegue lidar mais facilmente com esses problemas de oclusão em comparação com o sistema anterior, devido à possibilidade de processar as imagens recolhidas pelas câmaras.

Em contrapartida, a resolução daquilo que o utilizador vê é limitada pela resolução dos dispositivos de visualização. Também é exigido um maior poder de computação e de outros recursos, que são limitados em aplicações ao ar livre. Outra desvantagem é a possibilidade do utilizador se sentir desorientado visto que existe uma discrepância entre o posicionamento da câmara e a posição dos seus olhos, ou seja, a observação da realidade através do ecrã é diferente do habitual, portanto requer um esforço extra de adaptação por parte do utilizador. Por fim, como são utilizadas câmaras de vídeo para a obtenção do cenário real, a sua

visualização só é feita depois da geração dos elementos virtuais, sendo possível observar um pequeno atraso no ajuste da imagem quando o utilizador move a cabeça.

2.1.1.3 Sistema de visualização baseados em projeção

Estes sistemas baseados na projeção utilizam superfícies existentes em diversos ambientes reais para projetar as imagens dos objetos virtuais. O resultado final é a apresentação ao utilizador da combinação entre elementos reais e virtuais, como na figura 2.3. Desta forma, é possível sobrepor e adicionar mais imagens virtuais ao cenário. Este cenário pode ser exibido em resoluções mais altas, mas a visualização dos elementos pode ser afetada pela reflexão de luz ou pela existência de sombras devido ao tipo de superfície (que pode não ser plana) usado para a projeção. Também é necessário calibrar todos os dispositivos antes de estes serem utilizados.

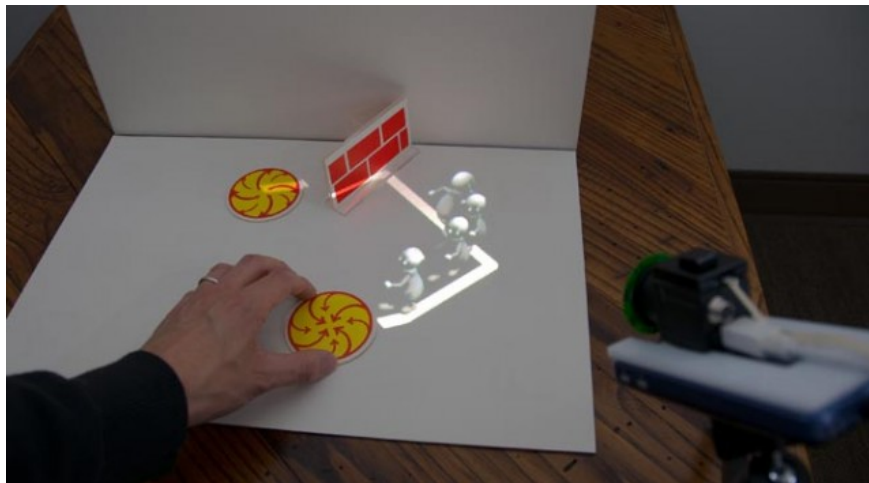


Figura 2.3: Exemplo da utilização de um sistema de visualização baseado em projeção [Plalt].

2.1.2 Técnicas de seguimento

Um dos grandes desafios no desenvolvimento de aplicações de realidade aumentada é a necessidade de saber a localização e a orientação do utilizador perante o ambiente real. De modo a tirar partido da interdependência entre o mundo real e o mundo virtual, é importante extrair informações do ambiente de modo a saber, por exemplo, onde está localizado o utilizador ou para onde este desloca os seus olhos ou a sua cabeça. Um sistema de seguimento tem que reconhecer estes movimentos e projetar objetos virtuais no ecrã de visualização de acordo com o

que o utilizador esteja a observar num dado momento. Feng Zhou *et al.* [ZDB08] dá ênfase a três diferentes tipos de técnicas de seguimento abordadas nas secções seguintes.

2.1.2.1 Técnicas de seguimento baseadas em sensores

Uma das técnicas de seguimento baseia-se na recolha de dados através de sensores como o giroscópio (para medir a orientação), o acelerómetro (para medir a aceleração), a bússola e o GPS.

Este tipo de técnica foi utilizado num jogo de realidade aumentada para dispositivos móveis [Vollt], onde o objetivo do jogador é eliminar *zombies*. Neste jogo, as criaturas são apresentadas no ecrã de um *tablet* através de georreferenciação, usando o sensor de GPS e o acelerómetro.

2.1.2.2 Técnicas de seguimento baseadas em vídeo

A disponibilidade de processadores rápidos que capturam imagens de vídeo de forma eficiente, tornaram este tipo de técnica extremamente popular [SMG05]. Sendo uma das mais utilizadas [ZDB08], esta técnica consegue calcular a posição da câmara relativamente aos objetos do mundo real através de métodos de processamento de imagens. Podemos dividi-la em sistemas baseados em características e sistemas baseados em modelos.

A lógica subjacente ao método baseado em características é encontrar uma correspondência entre as características da imagem capturada e as suas coordenadas reais. Uma das formas para efetuar esta operação consiste na utilização de marcadores que permitem, ao sistema gráfico, saber as coordenadas espaciais e a orientação dos objetos a partir do ponto de vista do utilizador.

Os marcadores são objectos, como na figura 2.4, colocados no campo de visão das câmaras de vídeo para serem utilizados como um ponto de referência. Podem ser colocados em pontos estratégicos no ambiente de forma a posicionar e orientar elementos virtuais no cenário do mundo real.

Outra alternativa ao uso de marcadores passa por analisar certas características do cenário, tais como pontos, linhas, contornos ou texturas.

O segundo método analisa a imagem com base nas características do modelo predefinido a observar. Normalmente estes sistemas são construídos de forma a analisar os contornos e linhas dos modelos a detetar. Os contornos são os recursos mais utilizados visto que são encontrados de forma eficiente e são robustos a mudanças na iluminação.



Figura 2.4: Exemplos de marcadores [JTV12].

Temos um exemplo da utilização deste método apresentado por Shahzad Malik *et al.* [MMR02]. A ideia base envolve o seguimento contínuo de padrões predefinidos onde, a partir da análise de cada imagem do vídeo, são detetados não só os quatros cantos exteriores dos padrões como também os interiores, em tempo real. Esta técnica permite que os padrões estejam significativamente obstruídos ou ocultos, permitindo ao utilizador muito mais liberdade de interação enquanto está em movimento. A implementação deste tipo de deteção é vantajosa, porque os padrões são facilmente detetados sob diversas orientações e distâncias e consegue adaptar-se a mudanças de iluminação significativas ou à presença de sombras.

C. Yuan descreve uma nova abordagem para a deteção e seguimento de vários objetos em movimento, em imagens de vídeo adquiridas por uma câmara estática [Yua04]. Ao contrário de muitas aplicações de realidade aumentada, o sistema descrito não usa dispositivos de seguimento extra, sendo apenas baseado em algoritmos de processamento de imagem e de vídeo. O seguimento é capaz de acompanhar simultaneamente vários objetos predefinidos. Esses objetos (PHOs - *place holder objects*) são colocados sobre uma mesa e podem ser movidos de forma arbitrária, permitindo que sejam rodados independentemente de estarem ou não ao alcance de visualização da câmara, que está orientada para a mesa.

2.1.2.3 Técnicas de seguimento híbridas

Para algumas aplicações de Realidade Aumentada a implementação de apenas um método de seguimento pode não fornecer resultados robustos e confiáveis. Assim, este tipo de técnica combina vários dos métodos de seguimento apresentados anteriormente.

No jogo ARQuake [TCDSBP02], o seguimento da posição do utilizador e da orientação da sua cabeça é feito através deste tipo de técnica, combinando o GPS,

a bússola e o seguimento ótico baseado na detecção de marcadores existentes no cenário.

2.1.3 Limitações

Apesar dos avanços consideráveis feitos na área de realidade aumentada, ainda existem limitações com a tecnologia existente que devem ser abordadas. É possível observar que, tal como demonstrado por Feng Zhou *et al.* [ZDB08], a complexidade dos problemas existentes, nesta área de investigação, estão interligados com quantidade de artigos publicados sobre os mesmos, ou seja, existem mais artigos sobre os problemas mais difíceis de resolver. Apresentam-se de seguida as limitações e abordagens mais relevantes.

2.1.3.1 Seguimento

A principal dificuldade no seguimento em tempo real deve-se à complexidade do cenário real observado e à movimentação do utilizador e dos objetos a detetar. Por exemplo, a detecção de objetos em movimento pode tornar-se bastante difícil se estes ficarem parcialmente ocultos, a sua aparência mudar devido à variação da luminosidade ou se existir ruído na imagem capturada pelas câmaras de vídeo incluídas em determinados equipamentos.

Nos sistemas de seguimento baseado na visão, a utilização de marcadores no meio ambiente facilita a detecção e o processamento das imagens capturadas, permitindo aumentar a robustez e reduzir os requisitos computacionais. Apesar disso, os marcadores necessitam de manutenção e o alcance a que são reconhecidos pelo sistema é limitado, fornecendo informação relevante apenas quando são detetados. Por estas razões, os métodos baseados em marcadores não são escaláveis, principalmente em cenários ao ar livre.

Os métodos baseados em modelos predefinidos podem aproveitar os recursos naturais existentes no ambiente e, assim, ampliar o alcance da área de seguimento usando esses recursos, que não variam de acordo com diferentes níveis de iluminação. Por exemplo, os contornos, por exemplo de edifícios e esquinas, são as características mais frequentemente utilizadas, porque são relativamente fáceis de encontrar e robustas a mudanças na iluminação [MMR02].

A utilização, no seguimento, de sensores magnéticos (muitas vezes utilizados para determinar a posição e orientação da cabeça do utilizador) é vantajosa por estes serem leves e terem uma alta taxa de captura de dados. Mesmo assim, os valores recolhidos podem ser incorretos devido à proximidade com objetos

metálicos que possam perturbar o campo magnético desses sensores.

Se considerarmos, tal como foi analisado por R. Azuma [Azu99], a utilização das aplicações de realidade aumentada em ambientes exteriores, ao ar livre, verificamos que é ainda mais difícil implementar um sistema de seguimento eficaz. Em primeiro lugar, tem-se menos controlo sobre o meio ambiente e em segundo lugar, temos menos recursos disponíveis, como a energia, computação e sensores. Por estes motivos, as soluções que se aplicam a sistemas de realidade aumentada no interior de edifícios podem não se aplicar diretamente a sistemas ao ar livre. Por exemplo, como não temos controlo sobre o ambiente e não sendo possível modificá-lo para atender às necessidades do sistema, a utilização de marcadores deixa de ser viável.

2.1.3.2 Registo

Muitos dos estudos também se têm centrado na questão do alinhamento adequado dos elementos virtuais com a realidade, referido por R. Azuma como *registration* [Azu99]. Embora tenham sido feitos progressos significativos relativamente a este tema, ainda existem alguns problemas por resolver.

Os sistemas de realidade aumentada tentam garantir uma perfeita coordenação entre os objetos reais e virtuais. Um pequeno erro na sobreposição dos objetos pode causar um desalinhamento perceptível entre estas duas realidades, comprometendo a ilusão de que os dois mundos coexistem.

A determinação da orientação e da posição exata do utilizador, é especialmente importante nestas aplicações, de modo a parecerem mais realistas. Sem um bom alinhamento, muitas aplicações de realidade aumentada não serão aceites pelos utilizadores [Azu97]. Imaginemos, por exemplo, um cirurgião a realizar uma biópsia. Neste tipo de situações é exigido um alinhamento exato entre o tumor e o objeto virtual que o representa.

A resolução deste problema é difícil, porque existem muitas fontes de erros e, nalguns casos, pequenos erros são perceptíveis e relevantes. R. Azuma define dois tipos de erros: estáticos e dinâmicos [Azu97].

Os erros de alinhamento estáticos ocorrem quando a câmara e os objetos do ambiente permanecem imóveis. Geralmente, os erros no sistema de seguimento ocorrem, com mais frequência, na determinação da posição e orientação de elementos do mundo real.

Os erros de alinhamento dinâmicos não têm nenhum efeito até que o ponto de observação (o utilizador ou a câmara de vídeo) ou os objetos se movam. Estes

são os que mais contribuem para o desalinhamento, visto que o cálculo da posição e a visualização dos objetos virtuais demora algum tempo. No total é igual ao tempo entre o momento em que o sistema de seguimento mede a posição e orientação do ponto de observação até ao momento em que as imagens geradas correspondentes a essa posição e orientação aparecem no ecrã. Se este atraso for demasiado longo os objetos tendem a flutuar pelo dispositivo de visualização.

Para combater estes problemas pode tentar-se reduzir os atrasos do sistema através da utilização de sensores com uma maior taxa de recolha de dados e de dispositivos com poder computacional mais adequado. Também se pode atrasar a sequência de vídeo correspondente à realidade para compensar o atraso na geração das imagens virtuais, mas esta solução pode não ser tolerável em algumas aplicações. Outra hipótese é tentar prever a posição futura do ponto de observação e das posições dos objetos e fazer a visualização nessas coordenadas.

2.1.3.3 Mobilidade

Em quase todos os sistemas de realidade virtual, o utilizador não é incentivado a deslocar-se, permanecendo num único local do mundo real durante a utilização destas aplicações [Azu97]. No entanto, em certas aplicações de realidade aumentada é necessário oferecer suporte a um utilizador que percorre livremente o ambiente. Os dispositivos de visualização mais móveis, como os HMD – *Head-Mounted Display*, exigiam a utilização de um capacete e de uma mochila para carregar o computador, a câmara, sensores de seguimento, o ecrã de visualização e baterias. Estes dispositivos tornavam-se desconfortáveis para os utilizadores devido à utilização do capacete e mochila. Mesmo assim, minimizar o peso dos componentes integrados no capacete era mais importante do que minimizar o peso na mochila [Azu99]. Contudo, os recentes desenvolvimentos na área da tecnologia móvel têm vindo a construir dispositivos mais leves e pequenos. Estes equipamentos têm um maior poder de computação e podem integrar câmaras de vídeo e vários sensores. Temos como exemplo recente o Google Glass, uns óculos de realidade aumentada desenvolvidos pela Google. Este dispositivo procura facilitar o acesso a informações *on-line* como mensagens, *e-mails*, notícias, previsão do tempo, mapas, além de tirar fotografias e gravar vídeos. A interação com este equipamento é feita através de comandos de voz ou através do toque na parte lateral direita do dispositivo (figura 2.5).



Figura 2.5: Dispositivo Google Glass.

2.1.3.4 Iluminação

A iluminação do ambiente é um componente relevante na utilização de aplicações de realidade aumentada, principalmente na geração de objetos virtuais [KKRBWT97]. Para aplicações usadas em ambientes conhecidos é possível modelar corretamente a iluminação e projetá-la em objetos virtuais. Em aplicações ao ar livre, os dispositivos de visualização devem funcionar corretamente numa ampla variedade de condições de iluminação [Azu99]. Se o ambiente real for, por exemplo, demasiado brilhante pode ofuscar a imagem virtual. Para os dispositivos de visualização de ótica transparente esta questão pode ser bastante difícil de modelar, porque o utilizador vê o mundo real diretamente através da transparência do ecrã. Já os sistemas de visualização por vídeo conseguem evitar este problema, porque permitem adaptar os parâmetros de visualização através do processamento do vídeo capturado.

2.1.4 Discussão

A possibilidade de estudar a tecnologia de realidade aumentada e de desenvolver várias aplicações sobre este tema, utilizando os diversos sistemas de visualização existentes, como os de visualização de ótica transparente, de visualização por vídeo ou baseados em projeção, é vasta e interessante. Contudo, através do jogo ARZombie, esta investigação centra-se em torno de dispositivos de visualização por vídeo, mais especificamente, na utilização de um *tablet* como forma de interação. Vários fatores foram analisados e a escolha deste tipo de visualização deve-se ao fato de haver uma flexibilidade na sua utilização tanto ao ar livre como em cenários onde não existe controlo sobre o meio ambiente que envolve o utilizador.

Também é importante referir que das várias técnicas de seguimento existentes, as baseadas em vídeo oferecem uma forma de observação e de análise mais pertinente. Isto porque, os resultados retornados, através da utilização de sensores, não se traduzem em informação útil quando não é necessário determinar, por exemplo, a posição do utilizador e da orientação da sua cabeça ou quando a utilização de sensores como o GPS dentro de edifícios pode prejudicar o bom funcionamento das aplicações a desenvolver.

De qualquer maneira, é sempre importante ter em consideração a forma como as escolhas feitas se refletem no desenvolvimento das aplicações. As limitações que surgem devido à utilização da realidade aumentada têm que ser ultrapassadas, dando importância à forma como é feito o seguimento das características presentes no cenário, como o alinhamento entre a realidade e o virtual poderá comprometer a sensação de coexistência entre os dois mundos e como mobilidade e a luminosidade são relevantes na deteção de informação através das câmaras dos dispositivos.

2.2 Detecção e reconhecimento facial

É interessante analisar a forma como a deteção e o reconhecimento facial pode ser implementado em aplicações de realidade aumentada. Para isso, é necessário compreender como estão relacionados a deteção e o reconhecimento de faces e como é que as suas limitações poderão influenciar os sistemas em que estão integrados. Como descrito por W. Zhao *et al.* [ZCPR03], os sistemas de reconhecimento facial envolvem três etapas importantes: (1) deteção de faces, (2) a extração de características e a correta normalização dos rostos detetados e, por fim, (3) a identificação das faces.

2.2.1 Deteção de faces

Uma das principais áreas de desenvolvimento do domínio da visão computacional é a área de deteção de faces em imagens [CDB11]. Esta tecnologia pode ser útil e necessária num conjunto alargado de aplicações, incluindo as que envolvem identificação biométrica, em videoconferências, na indexação de bases de dados de imagens e vídeos e na utilização de interfaces de interação [Hje01].

A deteção de faces consiste na determinação da localização e do tamanho das faces existentes numa determinada imagem. Esta deteção tem um papel muito importante na interação pessoa-máquina, pois representa a primeira etapa nos

vários processos de reconhecimento (faces, características ou expressões faciais) [CDB11]. Desta forma, para se construírem sistemas totalmente automáticos é necessário que os métodos de detecção implementados sejam eficientes e robustos. A face humana pode ser considerada como um objeto dinâmico que tem um elevado grau de variabilidade [Hje01].

Existem outros fatores, para além do anterior, que também tornam a detecção de faces complexa. Temos como exemplo a presença de cabelo na face, maquiagem, barba ou bigode ou o uso de óculos ou chapéus. Outro problema é a escala e a orientação da face em relação à imagem, pois isso dificulta a utilização de algoritmos de detecção que tentam localizar características, tais como os olhos, a boca e o nariz. A localização destas características também pode ser agravada se considerarmos a variação da luminosidade da imagem.

Neste componente de detecção é necessário ter em conta dois conceitos importantes [ZCPR03]. Temos o conceito de verdadeiro positivo ou acertos (aplicado em situações em que a face existente na imagem é detetada) e o conceito de falso positivo (aplicado em situações onde é detetada uma região onde não existe nenhum rosto). Um sistema ideal é aquele que tem uma taxa muito alta de acertos e uma taxa muito baixa de falsos positivos.

Existem várias abordagens para implementar detecções com base em características. Entre outros, existem métodos de detecção de faces que utilizam a informação recolhida de imagens em tons de cinzento [VJ04]. Alguns baseiam-se no conhecimento sobre os contornos presentes nas imagens [ZC01]. Outros métodos usam a cor como forma de detetar a pele das várias faces [CDB11; BB06].

Viola e Jones descrevem um sistema de detecção de faces capaz de processar imagens em tons de cinzento de uma forma rápida e eficiente, alcançando uma taxa de detecção bastante aceitável [VJ04]. Neste método são oferecidas três contribuições fundamentais. Em primeiro lugar, é apresentada uma nova representação de imagens, denominada imagem integral, que permite que as características usadas na detecção sejam processadas de forma eficiente. Em segundo lugar, temos um classificador simples e eficiente que é baseado no algoritmo de aprendizagem AdaBoost. Este classificador seleciona um pequeno número de características visuais importantes a partir de um conjunto alargado de potenciais características. Por último, temos um método para combinar classificadores em cascata, permitindo que as regiões das imagens de fundo sejam rapidamente descartadas e que seja dedicada mais computação às regiões de maior interesse.

Qiang Zhu e Jiashi Chen utilizam um método de detecção de faces baseado em contornos [ZC01]. Nesta abordagem, as imagens são processadas de forma a

extrair com precisão os seus contornos. Após a análise do gradiente da imagem, este sistema irá verificar a presença dos olhos, do nariz e da boca, como forma de detecção.

Existem técnicas que utilizam a informação da cor de uma imagem para detectar as faces. Tal como referido por Monali Choudhari *et al.*, podem surgir vários problemas ao utilizar este tipo de informação [CDB11]. Por exemplo, a representação das cores de um rosto obtida através de uma câmara de vídeo pode ser influenciada por fatores como a luz ambiente e o movimento da câmara. Também é necessário ter em conta que a cor de pele varia de pessoa para pessoa. Por último, é de registar que diferentes câmaras produzem cores significativamente diferentes, até se considerarmos a mesma pessoa sob as mesmas condições de iluminação. Se estes problemas forem resolvidos, esta técnica é robusta a mudanças de orientação e de escala e consegue tolerar a oclusão parcial da face.

Filipe Grangeiro *et al.* apresentam um método de detecção de faces que adiciona a detecção da pele e o cálculo da pose da face de forma a melhorar a taxa de detecção [GJC09]. Os resultados experimentais apresentados mostram que estas duas características melhoram o desempenho geral do sistema utilizado, sendo capaz de detetar mais faces corretamente e com uma menor taxa de falsos positivos.

2.2.2 Normalização de faces

A normalização é um passo intermédio aplicado após o processo de detecção de faces terminar e antes de começar o reconhecimento facial. Visto que as regiões das várias faces detetadas podem ter diferentes formas (essencialmente diferente escala, orientação e iluminação), todas as faces detetadas serão normalizadas.

A maioria dos métodos baseados na utilização da cor requer um processo de normalização relativamente à iluminação [BB06]. Ana Lameira *et al.* demonstra um método onde a fase de normalização consiste em extrair a área de um objeto e ajustá-lo a um formato predefinido [LJC11]. Para atingir esse objetivo, sem distorcer a área do objeto, as seguintes etapas são realizadas: em primeiro lugar é criada uma região quadrangular; depois, a área do objeto é colocado dentro dessa região, preenchendo o espaço restante com *pixels* pretos; por último, a imagem do objeto é convertida para uma resolução por omissão, por exemplo, 90 por 90 *pixels*.

Kangdon Lee propõe um método de normalização de imagens eficiente capaz de reduzir, de forma eficaz, os efeitos das várias condições de iluminação [LP08].

Os resultados experimentais demonstraram que as imagens ao serem normalizadas melhoraram consideravelmente o desempenho no reconhecimento facial.

2.2.3 Reconhecimento de faces

O reconhecimento facial é um componente utilizado em muitas aplicações, incluindo a vigilância, em aplicações que requerem autenticação e também como forma de estabelecer uma interface entre computadores e seres humanos [BB06].

Através de W. Zhao *et al.* é possível constatar que apesar dos sistemas de reconhecimento de faces atuais conseguirem atingir um certo nível de maturidade, o seu sucesso é ainda limitado pelas condições impostas por muitas aplicações reais [ZCPR03]. Por exemplo, existem problemas quando é feito o reconhecimento de faces em imagens adquiridas num ambiente ao ar livre, com condições de iluminação variáveis. A orientação das pessoas perante a câmara também continua a ser um problema ainda sem uma solução ideal. Por outras palavras, os sistemas atuais ainda estão longe de serem comparados com a capacidade de reconhecimento do sistema de percepção humana.

Um dos principais objetivos dos métodos de reconhecimento facial é lidar com certas variações que podem afetar as faces presentes nas imagens [BG05]. Estas variações podem dever-se à alteração da posição das pessoas ou das suas expressões faciais. Idealmente, um método de reconhecimento facial deveria ser capaz de reconhecer uma face apesar dessas variações, mas na prática esta situação não acontece. Se existir ruído na imagem, o desempenho dos métodos de reconhecimento de face diminui significativamente.

Sid-Ahmed Berrani e C. Garcia [BG05] determinam que uma imagem ou uma face detetada contém ruído se existirem variações que são classificadas em três categorias distintas: (1) se existirem variações de iluminação significativas, (2) se a seleção da área do rosto a identificar for imprecisa ou (3) se a face não estiver numa posição frontal em relação à câmara. Também neste artigo temos um exemplo de um método de reconhecimento estatístico, denominado *eigenfaces*. O objetivo deste método é fazer uso das propriedades estatísticas dos vetores de características associadas às faces, para calcular um espaço de projeção. As faces são projetadas neste espaço e a sua similaridade é calculada através da distância euclidiana. Neste método, o vetor de características é o vetor obtido pela concatenação das linhas ou das colunas da região que contém o rosto. O espaço de projeção é o espaço definido pelos *eigenvectors* da matriz de covariância dos vetores de características. A identificação de um rosto desconhecido é feita de forma

a encontrar a face existente na base de dados cujo vetor de projeção é o mais próximo do calculado para a face em questão (através do algoritmo do vizinho mais próximo).

2.2.4 Discussão

A utilização de tecnologias como a deteção e o reconhecimento facial pode ser uma mais-valia quando integrada em aplicações de realidade aumentada. O desafio e as limitações na utilização destas tecnologias estão continuamente interligados com a performance dos seus algoritmos. Isto porque, na avaliação do desempenho da deteção e do reconhecimento facial, o elevado grau de variabilidade da face de uma pessoa, as suas expressões faciais, a utilização de óculos, a presença barba e a luminosidade ambiente são alguns dos fatores a ter em consideração.

Desta forma, é importante garantir que o número de acertos (deteção e reconhecimento feito com sucesso para uma dada pessoa) seja elevado e que seja minimizado o número de falsos positivos. Esta questão pode ser garantida através da utilização de algoritmos como os apresentados por Viola e Jones [VJ04] e adicionando um processo intermédio de normalização aos vários rostos detetados.

2.3 Jogos

Além de aplicações médicas, militares ou industriais, a realidade aumentada também é utilizada para fins de entretenimento, por exemplo, em jogos de computador.

De modo a tornarem-se comerciáveis, vários desafios devem ser considerados quando são desenvolvidos jogos de realidade aumentada. A maioria destes desafios está relacionada com a disponibilidade dos vários dispositivos a preços acessíveis e com o seu desempenho computacional. Adicionalmente, também é fundamental garantir uma experiência de jogo positiva para o utilizador.

2.3.1 Dispositivos móveis

Com a evolução da tecnologia têm vindo a surgir dispositivos móveis com elevadas capacidades computacionais, equipados com câmaras fotográficas de alta resolução, ecrãs a cores de alta qualidade e com gráficos 3D acelerados por *hardware*, em tempo real [TCGXCBGPG08]. Também incorporam recursos adicionais

sofisticados como o acelerómetro e GPS. Deste modo, demonstra-se que esses dispositivos podem ser uma das plataformas dominantes no desenvolvimento e comercialização de aplicações de realidade aumentada.

Estes dispositivos têm um elevado grau de flexibilidade e são capazes de suportar aplicações móveis de realidade aumentada. Contudo, é necessário que o utilizador segure o dispositivo com as suas mãos.

Também existem limitações no seguimento de informação relevante do mundo real que torna desafiante a implementação da realidade aumentada nestes dispositivos. No entanto, o GPS e alguns sensores físicos podem ser usados de forma a construir sistemas híbridos de seguimento.

Muitas aplicações de realidade aumentada móvel são utilizadas através de telemóveis com capacidade de georreferenciação, para mostrar informação sobre os locais por onde os utilizadores passam. Se, adicionalmente, o telemóvel tiver câmara fotográfica incorporada, as aplicações permitirão que o utilizador visualize no ecrã informação temática sobre determinadas atrações turísticas como edifícios, pontos naturais, comércio, entre outros.

Para além do turismo, na área de entretenimento, também têm sido desenvolvidos jogos de realidade aumentada.

"Arhrrrr" [Mac] é um jogo que permite ao utilizador movimentar-se à volta de uma mesa. O tabuleiro de jogo, detetado através de uma imagem colocada na mesa, simula uma cidade e o jogador tem como objetivo eliminar os *zombies* que se vão aproximando de outras pessoas. Este jogo apenas utiliza um sistema de seguimento baseado em vídeo que permite detetar "Skittles", que podem ser utilizados como bombas, e a imagem presente na mesa de jogo, que permitirá apresentar a cidade virtual.

Outro exemplo, é o de um jogo [Chalt] que utiliza marcadores colocados nas cabeças dos jogadores como forma de interação. Através desses marcadores, detetados a partir dos dispositivos móveis, é possível descobrir quem é *zombie* ou quem é um ser humano.

Devido ao uso ubíquo de dispositivos móveis (como os *smartphones* e os *tablets*) e das características deste tipo de equipamento, torna-se mais fácil a implementação de jogos de realidade aumentada em ambientes reais [Tho12]. No entanto, é necessário resolver alguns desafios, principalmente em relação à interação com os objetos virtuais gerados por computador. Outros aspetos a ter em conta no desenvolvimento de jogos de realidade aumentada em dispositivos móveis são:

- o pequeno ecrã dos dispositivos;

- a dificuldade em fornecer uma iluminação adequada do ecrã face aos vários ambientes percorridos;
- a sua capacidade energética limitada;
- a dificuldade em garantir uma conexão à internet estável.

2.3.2 Experiência de jogo

T. Nilsen *et al.* exploram quatro aspetos importantes que podem ser utilizados de modo a melhorar a experiência de jogo: físico, mental, social e emocional [NLL04]. O aspeto físico envolve a capacidade de o utilizador poder utilizar o seu corpo para se movimentar pela realidade. Esta perspetiva pode ser utilizada para criar o cenário do jogo, de modo a interagir com objetos físicos incluídos no ambiente. Já o aspeto mental está relacionado com a complexidade de resolução de certos desafios impostos ao jogador, aproveitando o espaço tridimensional para ajudar no raciocínio. Em termos sociais são explorados os benefícios da comunicação, em pessoa, entre os jogadores. Por fim, o aspeto emocional envolve o modo como são estimulados todos os sentidos dos utilizadores, por vezes limitado pela incapacidade de se controlar o ambiente envolvente.

Segundo Bruce Thomas [Tho12], os jogos têm diferentes características de acordo com o tipo de dispositivo de visualização que utilizam (HMD, dispositivos móveis ou baseados em projeção) e com o local em que são jogados (ao ar livre ou dentro de edifícios). Ou seja, a jogabilidade e a experiência de utilização por parte do utilizador varia de sistema para sistema. Através da combinação de cada uma destas particularidades é possível avaliar a jogabilidade das aplicações desenvolvidas. Estas aplicações podem ser divididas em duas categorias de utilização: (1) jogos que envolvem apenas um utilizador e (2) jogos colaborativos [NLL04].

“ARQuake” [TCDSBP02] foi o primeiro jogo de realidade aumentada totalmente funcional criado para ser utilizado ao ar livre, mas que também pode ser jogado no interior de um edifício. É um jogo de tiro em primeira pessoa que permite que um utilizador se movimente pelo mundo real enquanto tenta eliminar monstros virtuais gerados por computador. Como esta aplicação é uma adaptação para realidade aumentada de um jogo de computador bastante popular, denominado por Quake, a interação do utilizador é alterada significativamente.

Neste jogo, os utilizadores estão equipados com um HMD (figura 2.6) e, para além de conseguirem visualizar o mundo em seu redor, observam informação

virtual sobreposta no visor do respetivo capacete enriquecendo, desta forma, a percepção do jogador.



Figura 2.6: Dispositivo utilizado no jogo ARQuake [TCDSBP02].

O seguimento da posição do utilizador e da orientação da sua cabeça é feito através de um sistema híbrido que combina o GPS, a bússola e o seguimento ótico baseado na deteção de marcadores existentes no cenário. Devido a limitações de movimento impostas pelo mecanismo de seguimento, apenas sete dos dezasseis tipos de monstros existentes no jogo Quake foram utilizados. Quer isto dizer que foram apenas utilizados monstros que andam ou saltam e aqueles que são relativamente fáceis de destruir, não infligindo danos excessivos ao jogador logo no seu primeiro ataque. Também houve necessidade de modificar a textura dos monstros de modo a torná-los mais fáceis de ver e distinguir do mundo real.

Como modo de interação, o utilizador pode alterar a arma atual ou disparar contra os monstros que vão surgindo no cenário, pressionando o gatilho de uma arma tangível. Esta forma de interação permitiu melhorar a jogabilidade.

Um exemplo que envolve múltiplos utilizadores é o sistema denominado por AR2Hockey [OSYT98]. Este jogo permite que dois utilizadores compartilhem o mesmo ambiente para jogar hóquei de ar (*air hockey*). Nesta forma de interação colaborativa, os utilizadores interagem com um disco, que é um objeto virtual gerado computacionalmente, com o objetivo de marcar golo na baliza do adversário. O jogador consegue movimentar o disco com o auxílio de um taco que segura na sua mão.

Esta aplicação adaptou a forma tradicional deste jogo, substituindo os discos físicos por virtuais. Cada jogador coloca um dispositivo de visualização de ótica transparente na cabeça como forma de visualização dos discos e da mesa de jogo física.

Como forma de seguimento híbrido, o HMD usa sensores magnéticos para capturar a orientação da cabeça do jogador e a câmara de vídeo detecta marcadores colocados no espaço físico do jogo, a fim de compensar pelos erros provenientes do sensor magnético.

Uma conclusão tirada a partir deste sistema é que para a experiência de utilização ser o mais positiva possível, a visualização deve ser suficientemente rápida. Desta forma, o desalinhamento entre o espaço físico e o virtual, causado pela demora no cálculo da movimentação e na representação do disco nos dispositivos de visualização, é minimizado.

Através do jogo "Collaborative billiARds" [SFLRW05] é feito um estudo sobre várias formas de melhorar a experiência de jogo, através da adaptação do jogo de bilhar para realidade aumentada, representado na figura 2.7. Vários assuntos são abordados tais como a utilização de interfaces tangíveis, *force-feedback*, indicadores audiovisuais, implementação de sistemas colaborativos e aplicação da mobilidade.

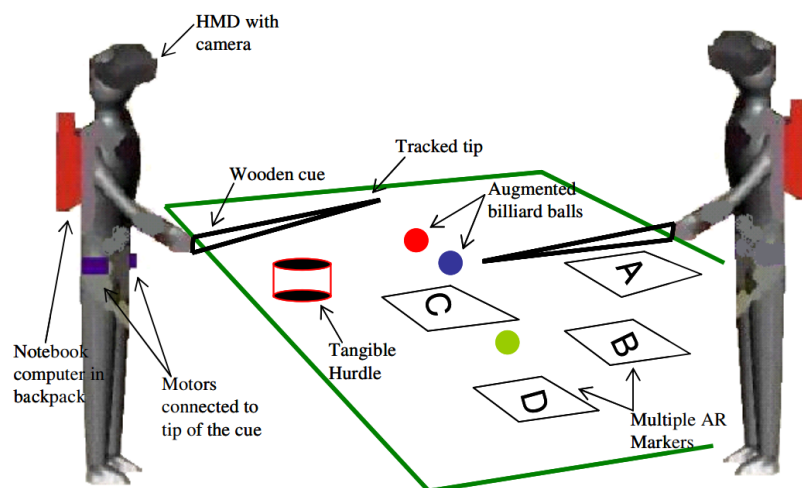


Figura 2.7: Esquema do jogo "Collaborative billiARds" [SFLRW05].

A utilização de interfaces tangíveis é uma maneira natural de manipular dados digitais através de objetos do mundo real. Como vimos anteriormente, o jogo ARQuake permitia que os jogadores disparassem contra monstros virtuais pressionando o gatilho de uma arma tangível, melhorando assim a sua jogabilidade [TCDSBP02]. Neste jogo ("Collaborative billiARds") a interação é feita por meio de um taco de bilhar. É usada uma câmara colocada na cabeça para seguir o taco e as bolas na mesa de jogo. Para um seguimento apurado, são utilizados múltiplos marcadores sobre a mesa de jogo e um marcador perto da ponta do taco. A mesa presente no mundo real é sobreposta por uma camada que representa virtualmente a superfície do jogo e as bolas de bilhar.

A implementação do mecanismo de *force-feedback* proporciona uma experiência de utilização mais realista. A observação visual por si só não é suficiente para proporcionar uma interação simples e natural para os utilizadores. No jogo AR-Quake a arma utilizada fornecia *force-feedback* que era suficiente para simular o coice de uma arma quando disparada. Neste jogo de bilhar são montados dois motores em torno da cintura do utilizador e ligados ao taco de bilhar de forma a simular o choque do taco com as bolas.

Os sinais audiovisuais são sinais emitidos que fornecem informação sobre o ambiente que envolve o utilizador. Neste jogo, quando uma colisão entre o taco e uma bola é detetado é possível ouvir um sinal auditivo que imita os sons produzidos nos jogos tradicionais. São fornecidos quatro sinais auditivos distintos que variam de intensidade de acordo com a força da colisão.

Também é referido neste artigo que o envolvimento entre as pessoas promove a interação com o jogo. Tal como o jogo "Collaborative billiARds", AR2Hockey [OSYT98] é um exemplo de um jogo colaborativo que permite que dois jogadores interajam com um disco virtual, um contra o outro, no mesmo espaço físico. Nesta adaptação do bilhar, ambos os utilizadores partilham o mesmo espaço físico e conseguem visualizar o mesmo espaço virtual através de seus HMDs. Quando um utilizador atinge uma bola virtual, as mudanças resultantes no estado do jogo são também transmitidas para o outro jogador.

Por último temos a mobilidade. A maioria dos jogos exige que os utilizadores se movimentem pelo cenário real, a fim de interagirem com as entidades do jogo. Assim, é importante que o sistema de jogo não restrinja a mobilidade do utilizador. Foi observado durante a avaliação da usabilidade do jogo ARQuake que uma das razões que permitiu aos jogadores gostarem da aplicação foi devido à capacidade de se movimentarem livremente durante o jogo [TCDSBP02].

Outro artigo que aborda a questão da experiência de jogo é apresentado por Kyusung Cho *et al.* [CKSLY07]. Neste artigo é apresentado um ambiente dinâmico que suporta a interação com a realidade, permitindo que eventos no mundo virtual possam afetar alguns movimentos no mundo real.

Este tipo de ambiente permite que um utilizador entenda o estado do mundo virtual de forma mais direta, pois este é capaz de associar informação virtual à observação direta do mundo real. Uma luz que se acenda ou um caixão que se abra automaticamente são exemplos de situações visíveis no cenário real que têm influência na interação com os elementos virtuais.

"Ghost Hunter" é um jogo de realidade aumentada que tem como objetivo

eliminar fantasmas invisíveis que apenas podem ser vistos através de um dispositivo móvel. Neste jogo, os fantasmas surgem no cenário através de túmulos, que estão colocados numa mesa do ambiente real. O jogador pode eliminar os fantasmas que são detetados pelo dispositivo. A percepção da existência de fantasmas por parte do jogador é feita através da observação da abertura dos túmulos reais. Se um fantasma tiver a intenção de atacar o jogador, a luz de aviso mais próxima do fantasma irá acender. Deste modo, o jogador também fica ciente da existência dos fantasmas.

Neste jogo, os túmulos que se abrem automaticamente e as luzes existentes no cenário são exemplos de mecanismos físicos que refletem mudanças no mundo virtual. Portanto, o objetivo dos ambientes dinâmicos é expandir a visibilidade do utilizador, enquanto interage com a aplicação, para além dos pequenos ecrãs dos dispositivos. Este tipo de interação torna as pessoas mais focadas no jogo, tanto através da observação da realidade como do ecrã.

2.3.3 Discussão

Os dispositivos móveis têm demonstrado a sua capacidade para executar, com eficiência, aplicações computacionalmente mais exigentes. No conjunto dessas aplicações estão as que integram a realidade aumentada, visto que é necessário capturar continuamente imagens das respetivas câmaras dos dispositivos, processar essas imagens e gerar e modelar (através da rotação, translação e escala) elementos virtuais, em tempo real.

Nesta dissertação, a aplicação criada será utilizada pelos utilizadores nos seus dispositivos pessoais. Esta decisão implica que o desenvolvimento do jogo tenha características mais genéricas de forma a abranger o maior número de utilizadores. Outra questão a garantir é a satisfação dos utilizadores. Oferecendo ao utilizador total liberdade para se movimentar pelo ambiente e dando informação útil sobre todas as ações que este faz no decorrer do jogo ARZombie são algumas das características a implementar de forma a assegurar uma boa experiência de jogo.



ARZombie

Como descrito no capítulo 1, um dos objetivos fundamentais desta dissertação é o estudo e o desenvolvimento de aplicações de realidade aumentada, explorando as limitações desta tecnologia e a possibilidade de integração com o conceito de reconhecimento facial. As várias tecnologias e técnicas apresentadas no capítulo anterior permitiram, deste já, um melhor entendimento sobre as dificuldades e as limitações do desenvolvimento de um jogo, que integra a realidade aumentada e o reconhecimento facial, em dispositivos móveis.

Neste capítulo é descrito o processo de desenvolvimento do jogo ARZombie. Na primeira secção é apresentado o conceito do jogo e a sua finalidade. A segunda secção centra-se na descrição das várias tecnologias e algoritmos utilizados no desenvolvimento do jogo. Finalmente, a integração das tecnologias desenvolvidas nas secções anteriores é demonstrado na terceira secção, onde se apresenta o funcionamento do jogo ARZombie.

3.1 Conceito

ARZombie é um jogo de tiro em primeira pessoa onde o objetivo do jogador é eliminar uma praga de *zombies*, em tempo real. Este jogo oferece, aos utilizadores, a possibilidade de experimentarem uma aplicação de realidade aumentada para dispositivos móveis, neste caso, para *tablets*. Os jogadores também irão observar o funcionamento do reconhecimento facial e tirar partido deste conceito de forma

a interagir com a aplicação. A interação com a aplicação é feita através do próprio *tablet*, onde a câmara é utilizada para analisar as faces das várias pessoas, para depois reconhecer aquelas que são consideradas como *zombies*. No ecrã do jogo, as faces dos inimigos são sobrepostas com modelos virtuais (modelos 3D gerados por computador de *zombies*) que introduzem o conceito de realidade aumentada. Desta forma, é possível aumentar a experiência de utilização dos jogadores e melhorar a interação dos utilizadores com o mundo real.

A história que enquadra o jogador no contexto do jogo é a seguinte: *Muito recentemente, foi criado um vírus artificial num laboratório universitário. Apesar de ter sido desenvolvido por acidente, várias pessoas já estão infetadas e lentamente têm vindo a transformar-se em zombies. Apesar das alterações do vírus no corpo humano ainda não serem visíveis a olho nu, já existem equipamentos móveis preparados para analisar cada pessoa e detetar se já estão infetadas ou não. Visto que ainda não existe uma cura, é necessário eliminar todos os zombies de forma a controlar esta terrível praga. De forma a destruir definitivamente os zombies é necessário danificar-lhes o cérebro, o que pode ser conseguido disparando para a sua cabeça.*

Desta forma, o utilizador tem como objetivo prevenir a extinção dos seres humanos neste cenário apocalíptico, ou seja, os jogadores terão que eliminar um maior número de *zombies* possíveis. Para isso, o jogador percorre livremente o mundo em seu redor em busca das várias criaturas, analisando as faces de todas as pessoas que se vão cruzando com ele.

Pretende-se oferecer aos utilizadores um jogo que proporcione uma competição amigável, através de um sistema de pontuação. Portanto, no início do jogo, todos os jogadores começam com zero pontos e a cada *zombie* eliminado a pontuação incrementa de acordo com o tempo que o demoraram a fazer. Quando a personagem dos utilizadores já não tiver vida, a pontuação final desse jogo poderá ser registada, na aplicação, como um recorde pessoal (figura 3.1).

De modo a introduzir uma sensação de progresso e de desafio é importante ir aumentando progressivamente o grau de dificuldade deste jogo. A cada nível (cada patamar de pontos atingidos) as criaturas vão-se tornando mais perigosas e infligindo cada vez mais dano ao jogador. O jogador acabará por perder o jogo se a sua vida restante atingir os 0%. Para não ser continuamente atacado, o jogador, terá que eliminar os *zombies* disparando, um certo número de tiros, para as suas cabeças, com o auxílio do *tablet*.

Outro aspeto integrado na aplicação é a existência de bónus que ajudam o jogador em diversos momentos no decorrer do jogo, surgindo no ecrã de forma aleatória.



Figura 3.1: Recorde pessoal do utilizador.

Também se considera importante oferecer ao jogador uma oportunidade de entretenimento coletivo. Como tal, antes de começar um novo jogo, o jogador tem a possibilidade de definir amigos e familiares, como *zombies* a eliminar.

3.2 Sistema

O jogo ARZombie inclui vários componentes distintos, mas que, através das interligações entre eles, formam o sistema de realidade aumentada. Este sistema de realidade aumentada é composto pelos componentes de deteção de faces, que recolhe informação sobre os rostos das pessoas, de reconhecimento facial, que associa as faces detetadas a pessoas previamente guardadas no sistemas, e de visualização 3D, que apresenta no ecrã vários elementos virtuais, como os *zombies*, os bónus e a arma do jogador.

A arquitetura deste jogo pode ser observada na figura 3.2, onde o componente representado como sendo o motor do jogo faz a ligação entre o jogador e o sistema de realidade aumentada, capturando várias imagens através da câmara de vídeo e apresentando informação útil no ecrã de jogo.

De referir que esta aplicação foi desenvolvida usando o Eclipse, um IDE (*Integrated Development Environment*) para desenvolver programas principalmente em Java, mas que também pode ser usado para o desenvolvimento de aplicações utilizando outras linguagens como por exemplo, PHP, C/C++, etc. De modo a construir aplicações para o sistema operativo Android, foi necessário instalar

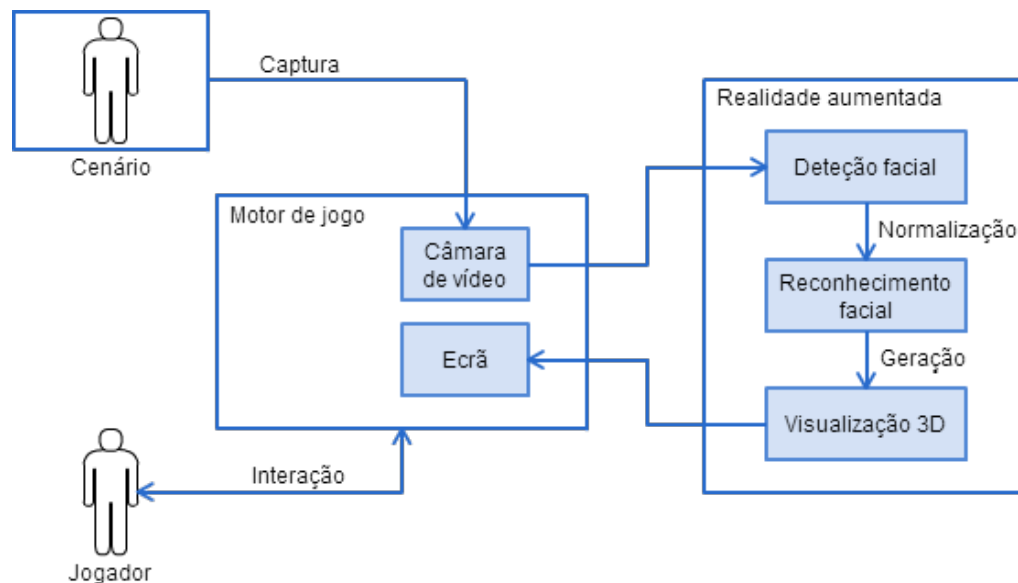


Figura 3.2: Arquitetura do jogo ARZombie.

uma extensão (ADT) ao Eclipse. Também foi necessário instalar o NDK, permitindo implementar partes das aplicações usando linguagens como o C e o C++. O objetivo é desenvolver a interface do jogo em Java/Android e a parte de processamento de imagens em C++.

Nesta secção são descritas as funcionalidades do sistema de forma mais detalhada.

3.2.1 Detecção e reconhecimento de faces

Ao contrário do jogo "AR Zombie Invasion"[Vollt] (que utiliza o GPS e o acelerómetro como forma de seguimento), o jogo desenvolvido baseia-se na deteção e no reconhecimento facial para apresentar os elementos virtuais associados à realidade.

Assim que o jogo é iniciado, o dispositivo móvel começa a capturar o cenário através da sua câmara traseira. As várias imagens obtidas são analisadas pelo componente de deteção de faces que irá verificar se existem rostos e, se existirem, as suas posições.

De modo a desenvolver estes componentes foi utilizado o OpenCV (*Open Source Computer Vision Library*). OpenCV é uma biblioteca de programação multiplataforma, totalmente livre para uso académico e comercial, para desenvolvimento de aplicações na área da visão computacional e processamento de imagem. Esta define o seu foco no processamento de imagens em tempo real e inclui implementações de vários algoritmos de visão computacional. Escrito em C/C++,

o OpenCV fornece interfaces para várias linguagens de programação (como por exemplo C++, C, Python e Java) e suporta todas as principais plataformas de sistemas operativos, incluindo o Windows, Linux, Mac OS, iOS, e Android.

3.2.1.1 Detecção de faces

Tal como o nome indica, este componente tem como função detetar faces nas imagens capturadas pela câmara de vídeo. O componente descrito também tem a capacidade de detetar ambos os olhos dos rostos previamente encontrados. Nesta aplicação desenvolvida, considera-se que se alguma pessoa for detetada significa que foram encontrados corretamente tanto a face como os olhos da pessoa em questão. Essa informação será posteriormente enviada para o sistema de reconhecimento facial que terá de verificar se a pessoa detetada pertence ou não ao grupo dos *zombies*, como ilustrado na figura 3.3.

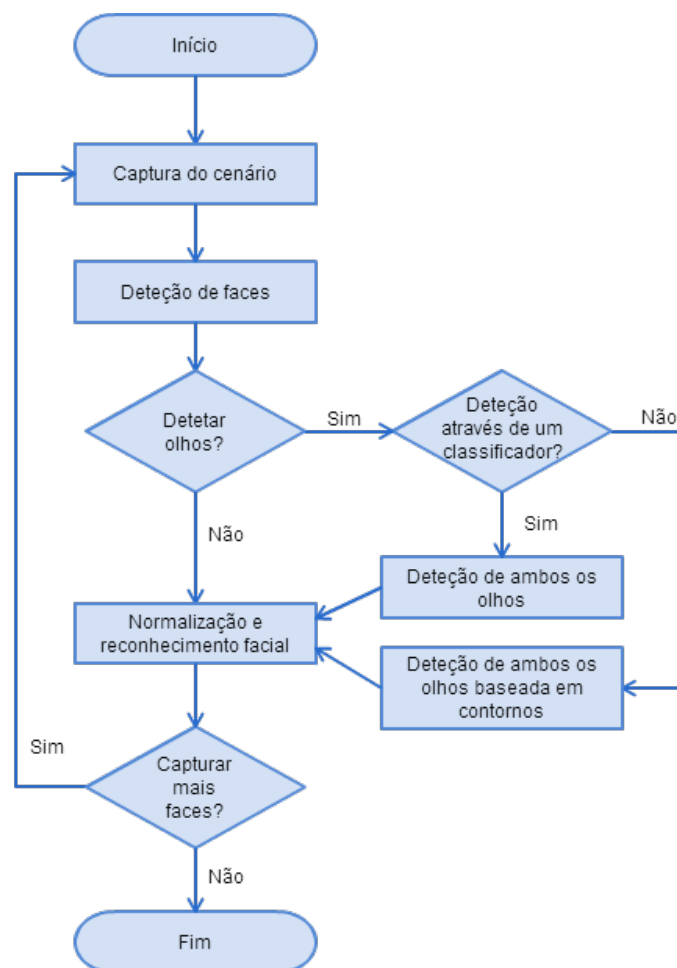


Figura 3.3: Fluxograma do componente de detecção de faces.

Após análise e experimentação de algumas aplicações Android fornecidas

pelo OpenCV, foi adaptado, à aplicação desenvolvida, o componente existente que deteta faces.

O método que foi utilizado, como base para este jogo, foi desenvolvido por Viola e Jones [VJ04]. Os motivos para esta escolha residem no elevado número de sistemas que utilizam este método e no facto de ser provavelmente o método de deteção de faces humanas mais citado nos vários artigos científicos existentes, com mais de 9500 citações [VJ1t]. Este algoritmo de deteção de objetos tem a capacidade de processar imagens de forma eficiente e alcançar boas taxas de deteção.

O resultado da integração do algoritmo Viola-Jones na aplicação Android desenvolvida pode ser observado na figura 3.4. Nesta figura demonstra-se o funcionamento do componente de deteção facial aplicado ao jogo ARZombie. Com base na informação fornecida por este método é possível extrair vários pontos de interesse relativos à face e aos olhos das várias pessoas, como, por exemplo, o centro da face (coordenadas x e y) e a sua escala (dimensão da face), em relação ao ecrã. Através dessa informação é possível localizar no ecrã as várias faces detetadas e os respetivos olhos (no caso da figura apresentada, através de retângulos).



Figura 3.4: Aplicação com capacidade de detetar a cara e os olhos das pessoas.

De modo a implementar, no jogo ARZombie, este componente foi essencial analisar passo a passo o comportamento de cada etapa do seu desenvolvimento.

De forma a poder utilizar as várias primitivas fornecidas pelo OpenCV, primeiro foi necessário carregar a biblioteca. Depois, foram criadas duas instâncias da classe `DetectionBasedTracker`, passando como parâmetro o nome do ficheiro a partir do qual o classificador é carregado. Esta classe foi utilizada tanto para

carregar o ficheiro XML com dados de treino relativos à deteção de faces como para a deteção dos olhos. Neste componente é importante obter a posição dos olhos visto que essa informação será utilizada no passo de normalização. A determinação da posição correta dos olhos poderá ser benéfica para o jogo, podendo melhorar a precisão do componente de reconhecimento de faces, como determinado nos resultados experimentais descritos na secção 4.2.

Para a deteção do rosto foi utilizado o ficheiro "lbpcascade_frontalface.xml". De notar que este ficheiro XML serve para detetar faces humanas que estejam orientadas de forma frontal relativamente à câmara, não conseguindo assim detetar rostos de perfil. Para a deteção dos olhos foi utilizado o ficheiro intitulado "haarcascade_eye.xml".

Estabelecido o ponto de partida, o jogo está preparado para iniciar a captura e o processamento das imagens provenientes da câmara. Em primeiro lugar, cada imagem recebida é convertida para tons de cinzento. Esta conversão é importante visto que o tamanho da imagem a processar é reduzido significativamente. Para certas aplicações onde é utilizado processamento de imagem (especialmente em situações onde é necessário detetar objetos em tempo real) esta redução de dados permite que o algoritmo seja executado mais rapidamente. Também é possível melhorar a precisão dos sistemas de deteção facial existentes sem aumentar a complexidade computacional dos mesmos [LP09]. A imagem em tons de cinzento é utilizada para recolher todas as faces encontradas, utilizando os métodos fornecidos pelo OpenCV.

Para cada face detetada é necessário encontrar a posição dos olhos. Como tal, selecionam-se duas regiões retangulares uma para cada olho. Estas regiões têm dimensões iguais, mas inferiores ao tamanho da face em questão. A criação destas regiões deve-se ao facto de restringirem a procura dos olhos, novamente de forma a reduzir o tempo de processamento do algoritmo de deteção. O mesmo processo usado para detetar as faces é aplicado cada para um dos olhos, alterando apenas a instância da classe `DetectionBasedTracker` de forma a utilizar o ficheiro XML de treino correto. Se os olhos forem detetados corretamente e as suas posições forem registadas, então é necessário proceder à normalização e reconhecimento das faces.

Após analisar o correto funcionamento deste componente observou-se que a aplicação não era muito fluida devido à sobrecarga de informação que a aplicação tinha de computar continuamente, em tempo real. Observou-se que a lentidão observada na aplicação era mais significativa quando se introduzia o processo de deteção dos olhos. Portanto, foi desenvolvido outro método de deteção dos olhos

de forma a tentar melhorar o desempenho da aplicação sem prejudicar a eficácia da deteção. Continuando a utilizar os métodos fornecidos pelo OpenCV, foi desenvolvido um algoritmo de deteção de olhos através de contornos, baseado no algoritmo proposto por Qiong Wang e Jingyu Yang [WY06].

Nesta versão, continua-se a utilizar como base o método de deteção facial descrito anteriormente e as mesmas regiões definidas para os olhos. As restantes fases do algoritmo dividem-se nos seguintes passos (ver figura 3.5):

1. Aplicação de um efeito de desfocagem sobre cada região, como forma de reduzir o ruído presente na imagem;
2. Deteção das várias arestas de cada região;
3. Dilatação em ambas as regiões de forma a gerar contornos mais generalizados;
4. Recolha de todos os contornos existentes.
5. Determinação do centro de cada olho.

Cada contorno é representado pela região retangular que o delimita. A posição aproximada do olho é determinada como sendo o centro da região retangular que respeite determinados critérios. As coordenadas dos olhos são guardadas se existir algum contorno que tenha proporções semelhantes à de um olho humano. Se existirem vários contornos que respeitem a restrição indicada anteriormente, então consideram-se as coordenadas x e y do centro do maior contorno.

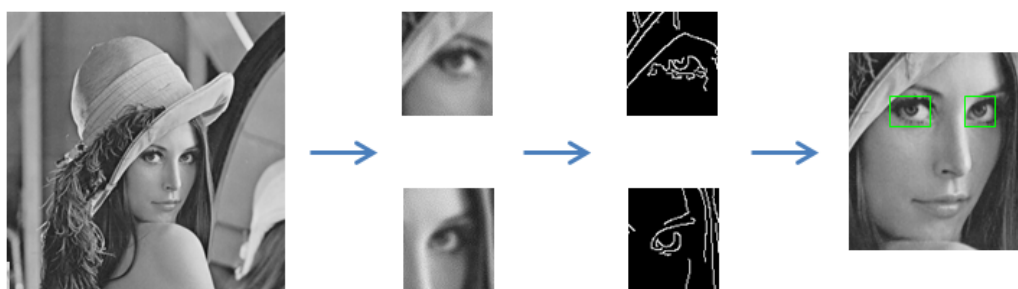


Figura 3.5: Processo de deteção dos olhos através de contornos.

Se o algoritmo desenvolvido for capaz de registar as posições aproximadas de ambos os olhos, então este componente foi bem-sucedido e essa informação, juntamente com a relativa à face detetada, é transmitida para o componente de normalização e posteriormente de reconhecimento facial. O comportamento deste algoritmo pode ser observado na figura 3.6.



Figura 3.6: Aplicação com capacidade para detetar os olhos das pessoas através de contornos.

Visto que os algoritmos de deteção de olhos não têm uma precisão de 100%, considerou-se uma versão onde não se detetavam os olhos por completo. Neste caso, apenas é detetada a face da pessoa da mesma forma apresentada nas duas alternativas anteriores. Deste modo, será analisada a forma como a presença do componente de deteção dos olhos influencia o correcto reconhecimento das várias faces treinadas.

3.2.1.2 Normalização de faces

Visto que as faces são detetadas com sucesso, assim, é possível iniciar o reconhecimento das mesmas. Antes, as faces encontradas são normalizadas, a fim de aumentar a precisão do componente de reconhecimento facial. Além disso, os vários detalhes do rosto de uma pessoa causam variações subtis na imagem que podem prejudicar o correto reconhecimento facial. Um alinhamento correto de um rosto detetado é importante para o reconhecimento facial. Como tal, é necessário compensar ou normalizar uma face para uma posição predefinida, minimizando a variância a nível da rotação. Uma vez que a postura, a posição e a orientação da face são conhecidas, é possível inverter o sentido de rotação e de translação de forma a atenuar as pequenas variações das várias faces recolhidas da mesma pessoa.

Como temos informação sobre a posição aproximada de ambos os olhos, é possível saber o ângulo entre eles. Desta forma, é possível rodar e escalar a face de forma a que os dois olhos se alinhem perfeitamente. Isso garante que os olhos

estarão alinhados horizontalmente, ou seja, o centro de cada olho tem a coordenada y com o mesmo valor. Já com a rotação feita, é necessário reduzir o tamanho da face capturada para um tamanho predefinido. Para a região quadrangular estabeleceu-se um tamanho de 70 píxeis por 70 píxeis. Por fim, filtram-se os cantos do rosto, uma vez que, a informação relevante encontra-se maioritariamente na região central da imagem. É desenhada uma elipse, onde a parte exterior é preenchida a preto, eliminando possivelmente ruído na imagem e a parte interior é preenchida com a face da pessoa. Na figura 3.7 representam-se os passos aqui descritos.

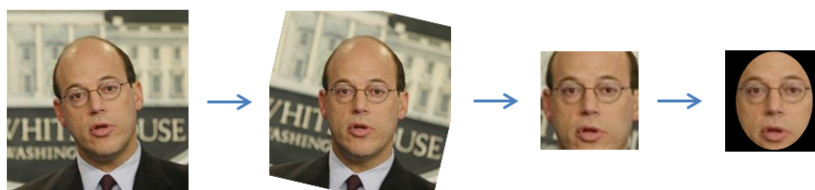


Figura 3.7: Fase de normalização da face detetada.

Este processo de normalização é utilizado em dois dos três cenários apresentados na subsecção anterior, referente à deteção facial. É utilizado nas situações em que os olhos são detetados, ou seja, quando se detetam os olhos com base em classificadores e com base em contornos. Para o terceiro cenário, onde não se detetam os olhos, é apenas feito um ajuste da face para a escala predefinida, de 70 píxeis por 70 píxeis.

Assim que o processo de normalização terminar, o sistema de reconhecimento facial estará pronto para iniciar.

3.2.1.3 Reconhecimento de faces

Uma das características interessantes do jogo ARZombie é o facto de o jogador poder definir, antes de começar a jogar, quais as pessoas que poderão ser consideradas como *zombies*. Esta característica desperta o interesse do utilizador devido à possibilidade em indicar amigos e familiares, como criaturas a eliminar (podendo este conceito ser generalizável). Como tal, durante o decorrer da aplicação o sistema de reconhecimento facial pode atuar de duas formas distintas. Este componente pode atuar como sistema de treino, onde são determinadas as pessoas que serão etiquetadas como *zombies*, sendo as suas faces treinadas de forma a construir um modelo com esses dados. Também pode atuar como um sistema de reconhecimento, onde, em tempo real, as faces detetadas são analisadas e comparadas com o modelo de treino existente, de forma a determinar se, para o jogo,

uma dada pessoa é um *zombie* ou não.

A partir da versão 2.4, foi adicionada à biblioteca do OpenCV um componente especialmente dedicado ao reconhecimento facial, composto pela classe `FaceRecognizer`. `FaceRecognizer` suporta o treino de um conjunto de dados, através da função `FaceRecognizer::train()`. Através desta classe, o conjunto de dados treinado pode ser utilizado para reconhecer uma dada face. A função `FaceRecognizer::predict()` irá fazer uma previsão em relação a uma face fornecida e determinar qual pessoa associada a essa amostra. Também é possível guardar, num ficheiro XML ou YAML, e carregar o estado de um modelo treinado.

Antes do jogo começar, se ainda não tiverem sido definidas as pessoas que são classificadas como *zombies*, a aplicação pede ao utilizador para iniciar o registo das várias faces das pessoas escolhidas. Os passos executados por este componente estão descritos na figura 3.8.

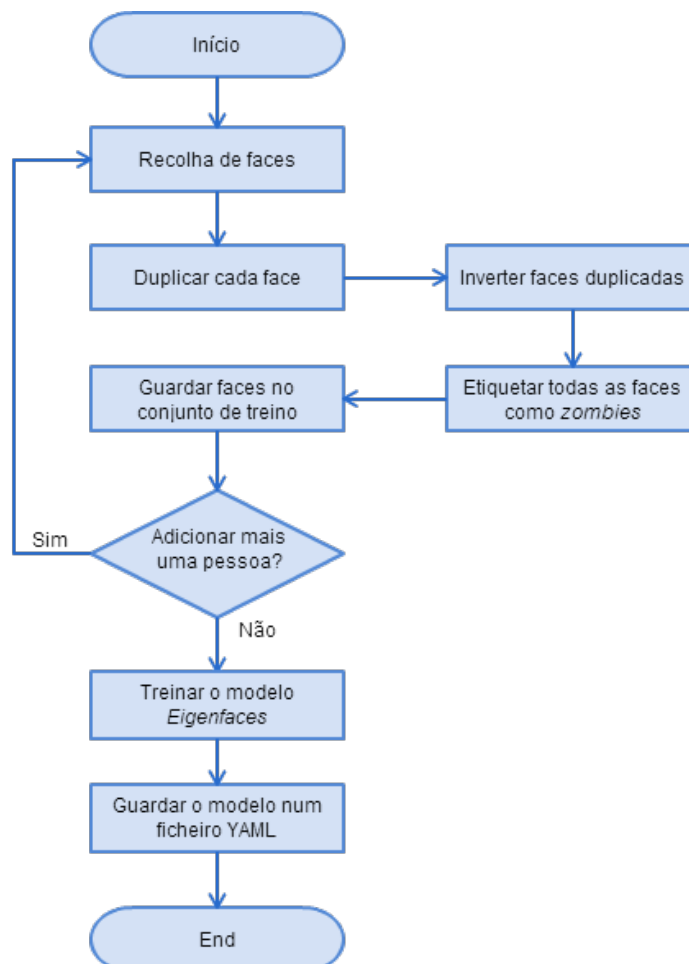


Figura 3.8: Fluxograma do componente de treino do reconhecimento de faces.

Após a recolha dos diversos rostos é necessário aprender um modelo Eigenfaces [TP91] de um determinado conjunto de imagens. Essas imagens (as várias

faces de todos os futuros *zombies*) são capturadas e etiquetadas como inimigos a eliminar. De modo a recolher mais dados para efetuar o treino, são guardadas, no conjunto de treino, as faces detetadas e as respetivas imagens especulares, como se as faces fossem capturadas a partir do que se observa num espelho. Estas imagens especulares são recolhidas de modo a eliminar o efeito da variação da postura e da iluminação da face original, melhorando a precisão dos métodos de reconhecimento facial [XLYZ14]. Se o algoritmo verificar que existem dados suficientes para a iniciar o processo de treino então são, utilizadas as primitivas do OpenCV relativas ao reconhecimento facial. Começa-se por criar uma nova instância da classe FaceRecognizer indicando, como parâmetro, que será utilizado Eigenfaces no processo de treino. Dependendo do conjunto de dados recolhidos, a operação de treino das faces poderá demorar um certo tempo até terminar.

Terminado o processo de treino, guarda-se o modelo retornado no dispositivo como um ficheiro YAML.

Assim que o jogo inicia, e se já existir um modelo treinado e guardado na aplicação, o sistema de reconhecimento tem como objetivo verificar se as faces previamente detetadas pertencem ao grupo dos *zombies*, como apresentado na figura 3.9.

O modelo guardado previamente na aplicação (ficheiro YAML) é carregado de forma a ser utilizado, cada vez que seja necessário verificar se um rosto detetado existe ou não no modelo de treino. O algoritmo utiliza o rosto para fazer uma previsão, com um certo nível de confiança associado. O resultado da previsão indica se o componente de reconhecimento facial conseguiu associar o rosto a uma pessoa existente no modelo treinado. Se o reconhecimento terminar com sucesso então o motor do jogo irá apresentar o modelo virtual sobreposto à face da pessoa identificada, mas se não for reconhecido ninguém ou o nível de confiança associado a uma determinada pessoa for muito baixo, então também se considera que não houve reconhecimento.

3.2.2 Realidade aumentada

Este componente inclui todo o processo desde a captura das imagens pela câmara, passando pela deteção de faces, executando o passo de normalização das faces, analisando se uma face pertence ao grupo dos *zombies* até à contínua apresentação dos modelos 3D no ecrã do dispositivo.

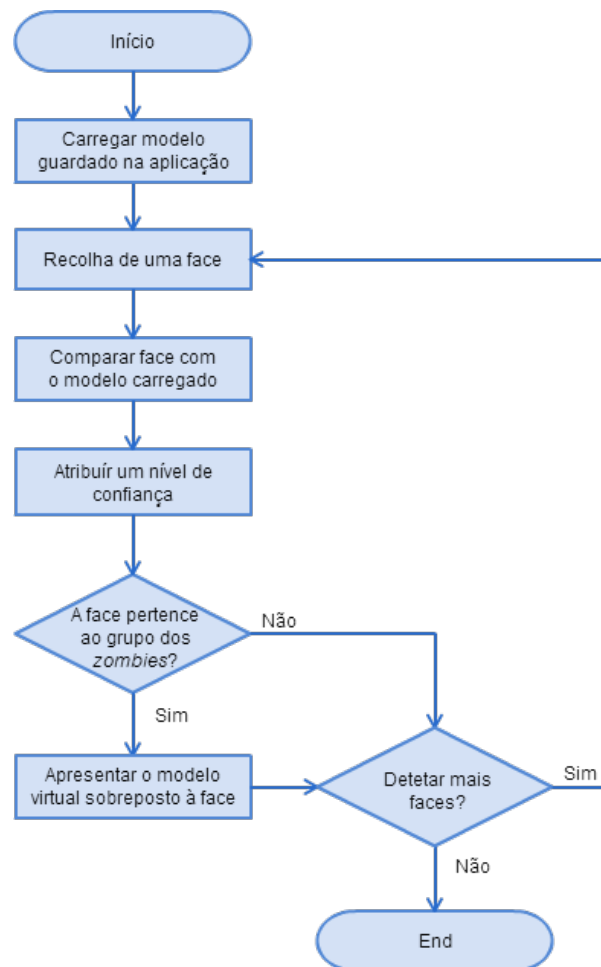


Figura 3.9: Fluxograma do componente de reconhecimento de faces.

3.2.2.1 Modelos 3D

Após o reconhecimento facial ter concluído e determinado que uma dada pessoa é um *zombie* é necessário apresentar um modelo 3D de um *zombie* no ecrã. Como se sabe a posição da pessoa em relação à câmara e ao ecrã, recolhida com os componentes anteriores, é possível apresentar os modelos virtuais sobrepostos à face. Várias alternativas foram consideradas para apresentar modelos tridimensionais no ecrã.

Unity

O Unity é um motor de desenvolvimento de jogos e outros conteúdos interativos. Apesar do programa Unity também ser uma ferramenta utilizada no desenvolvimento de aplicações para dispositivos móveis, ainda existem limitações quando é necessário integrar, por exemplo, o OpenCV. Não existe mobilidade para, fora do âmbito do Unity, modelar o conteúdo virtual criado nesse programa, de acordo com a deteção que é feita das faces. Ou seja, não foi possível adicionar ao ecrã os modelos 3D sobrepostos ao vídeo capturado pela câmara. Portanto, como surgiram algumas restrições, esta opção foi abandonada.

Vuforia

Vuforia é uma plataforma que permite a criação de aplicações de realidade aumentada para dispositivos móveis. É usada a tecnologia de visão computacional para reconhecer e seguir imagens ou objetos 3D simples, como caixas, em tempo real. Mesmo assim, não é viável a sua integração com o OpenCV, porque cada uma das bibliotecas tem a sua própria forma de lidar com os dados provenientes da câmara de vídeo. Portanto, não sendo possível partilhar a captura das imagens do vídeo com o OpenCV e com o Vuforia, esta opção também foi rejeitada.

Metaio

Metaio é uma empresa que desenvolve *software* e fornece soluções de realidade aumentada. A integração da sua ferramenta de desenvolvimento, Metaio SDK, com o OpenCV foi feita com sucesso, como se pode observar na figura 3.10. Na figura apresentada pode-se observar uma versão inicial do jogo ARZombie, onde um modelo 3D é sobreposto com sucesso a uma face detetada.

Mesmo assim, observou-se que a execução da aplicação não era fluida, com a taxa de apresentação das imagens de vídeo a ser muito baixa. Para além disso, é necessário pagar para se desenvolver aplicações (sem marca de água) utilizando o Metaio SDK. Deste modo, esta opção também foi excluída.

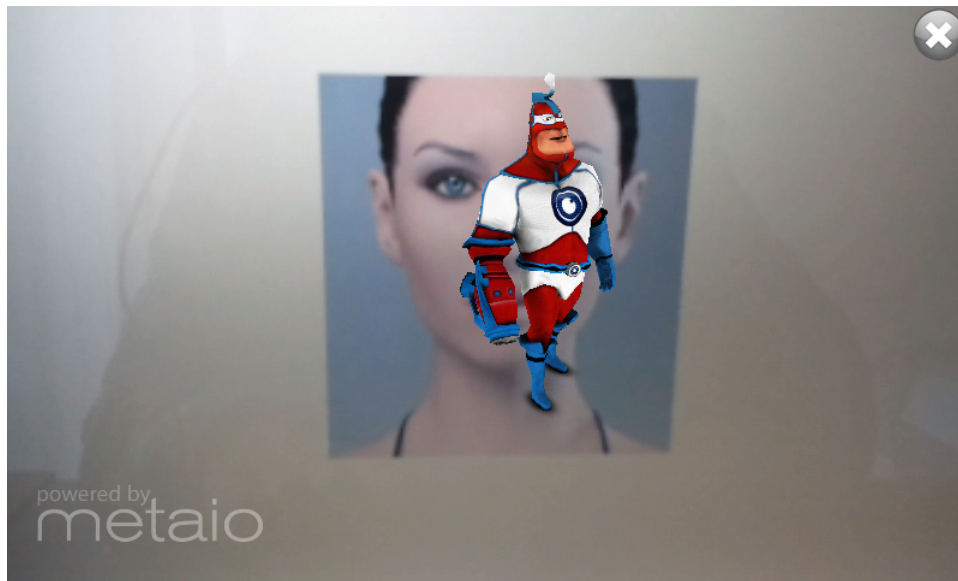


Figura 3.10: Aplicação que integra a detecção facial com o Metaio.

OpenGL

O OpenGL (*Open Graphics Library*) é uma API (*Application Programming Interface*) utilizada na computação gráfica, para o desenvolvimento de aplicações gráficas, ambientes 3D e jogos.

Podendo o seu conteúdo ser utilizado livremente e sendo viável a utilização do OpenGL, avançou-se com a utilização desta biblioteca de forma a melhorar o conteúdo virtual apresentado. Deste modo, foram feitas novas experiências utilizando dois modelos virtuais distintos (um ficheiro MD2 e um OBJ). O formato MD2 é usado principalmente para a criação de modelos animados embora também possa ser utilizado para modelos estáticos. O formato OBJ é utilizado para a construção de modelos 3D sem animações. Na figura 3.11 é possível ver o modelo OBJ que é sobreposto à face detetada.

É permitido aplicar três operações diferentes aos modelos criados através do OpenGL. Temos a translação que permite alinhar corretamente no ecrã o modelo virtual com a face da pessoa. A mudança de escala que conforme a distância da face detetada em relação ao dispositivo móvel, recolhida através do tamanho das arestas do retângulo, altera o tamanho do modelo. E por fim temos a rotação que é feita ao modelo de acordo com a posição no ecrã da cara detetada.

Para o carregamento destes modelos foi utilizado a *framework* Rajawali. Rajawali é uma *framework* 3D para Android baseado no OpenGL ES 2.0/3.0. O seu principal objetivo é tornar mais simples a programação de conteúdo em OpenGL, sendo utilizado para criar aplicações e *wallpapers*.

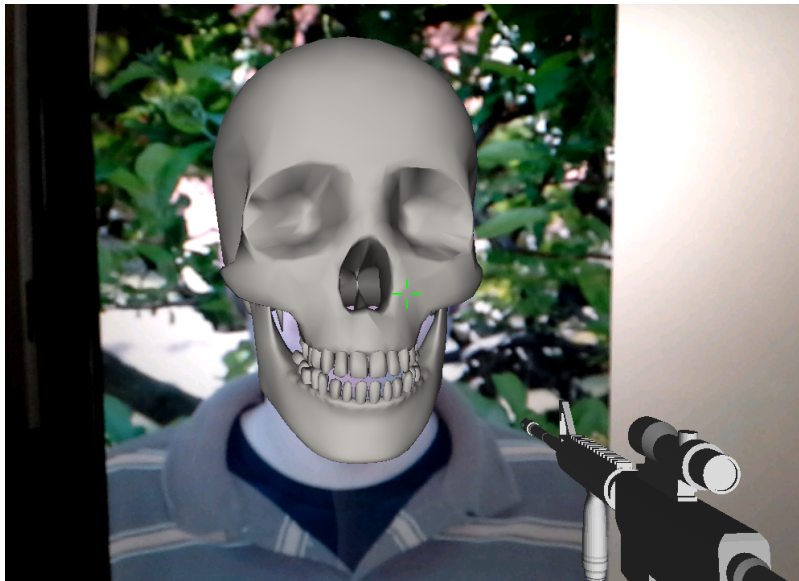


Figura 3.11: Aplicação que integra a detecção facial com o OpenGL, através de um modelo 3D simples.

3.2.2.2 Seguimento

Vários sistemas de realidade aumentada, para dispositivos móveis, utilizam técnicas de seguimento (*tracking*) baseados em sensores, como os acelerómetros, o GPS, giroscópios e bússolas. Outras técnicas baseadas em marcadores e contornos também são utilizadas como forma de seguimento, permitindo, através de câmaras de vídeo, a recolha de informação necessária para apresentar os elementos virtuais nos ecrãs dos dispositivos de modo a interligarem corretamente com a realidade.

De forma a lidar, em tempo real, com a descoberta dos vários elementos reais, o jogo ARZombie utiliza uma técnica baseada em vídeo. Mais concretamente, é utilizada a detecção facial como forma de seguimento. Como em ARZombie é necessário verificar se as pessoas observadas são consideradas como *zombies*, a tecnologia utilizada é o primeiro passo do componente de realidade aumentada, permitindo identificar várias pessoas através dos traços do seu rosto.

A fluidez do jogo é determinada pela capacidade de execução dos algoritmos de detecção facial fornecidos pelo OpenCV. As imagens que vão sendo capturadas pela câmara são posteriormente analisadas e de forma eficiente detetar.

Na figura 3.12 podemos observar o correto seguimento de uma pessoa presente no cenário.

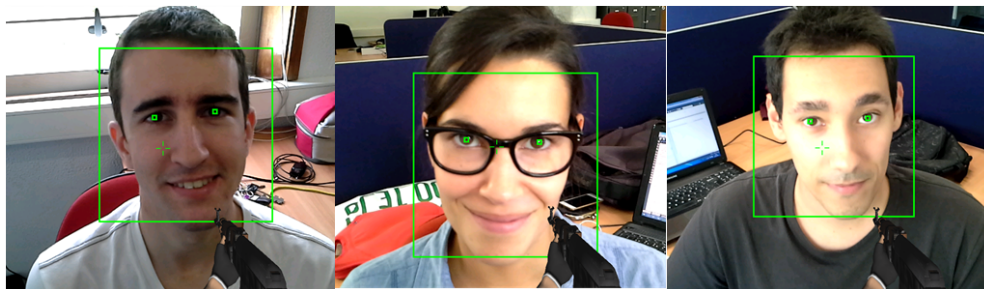


Figura 3.12: Seguimento feito pelo jogo ARZombie.

3.2.2.3 Registo

Em várias situações, onde é utilizada a tecnologia de realidade aumentada, a determinação das coordenadas exatas tanto do utilizador como dos objetos a observar é bastante útil. De forma a parecerem o mais realistas possíveis, as aplicações de realidade aumentada têm de garantir uma perfeita coordenação entre os elementos reais observados e os objetos virtuais.

No jogo ARZombie, o registo das coordenadas do jogador não é relevante visto que apenas é necessário recolher a posição das várias pessoas observadas pela câmara de vídeo. Neste jogo, os modelos 3D, que representam os *zombies* a eliminar, serão sobrepostos à face da pessoa detetada. Como tal, a utilização da deteção facial, utilizada como forma de seguimento, é uma mais-valia na captura de toda a informação necessária. Através deste método e das primitivas do OpenCV consegue-se recolher informação, em tempo real, sobre a posição da face e sobre a sua dimensão. A posição da pessoa detetada, em relação ao ecrã, é usada posteriormente na modelação dos *zombies*, modificando a posição, escala e rotação desses mesmos elementos 3D. A figura 3.13 representa o resultado a aplicação dos dados recolhidos sobre a face, modelando o modelo 3D de forma a alinhar corretamente com a face detetada.

Essa tecnologia oferece níveis de precisão e de eficiência aceitáveis (como demonstrado na secção 4.1, referente aos testes e resultados experimentais). Assim, o alinhamento adequado dos elementos virtuais com a realidade é garantido de acordo com a performance dos algoritmos, face às várias condições de iluminação e às diferentes faces a serem analisadas.

3.2.2.4 Mobilidade

Em quase todos os sistemas de realidade virtual, o utilizar permanece sentado ou numa localização específica, durante a utilização de aplicações deste género. No entanto, nas aplicações de realidade aumentada é interessante desenvolver um

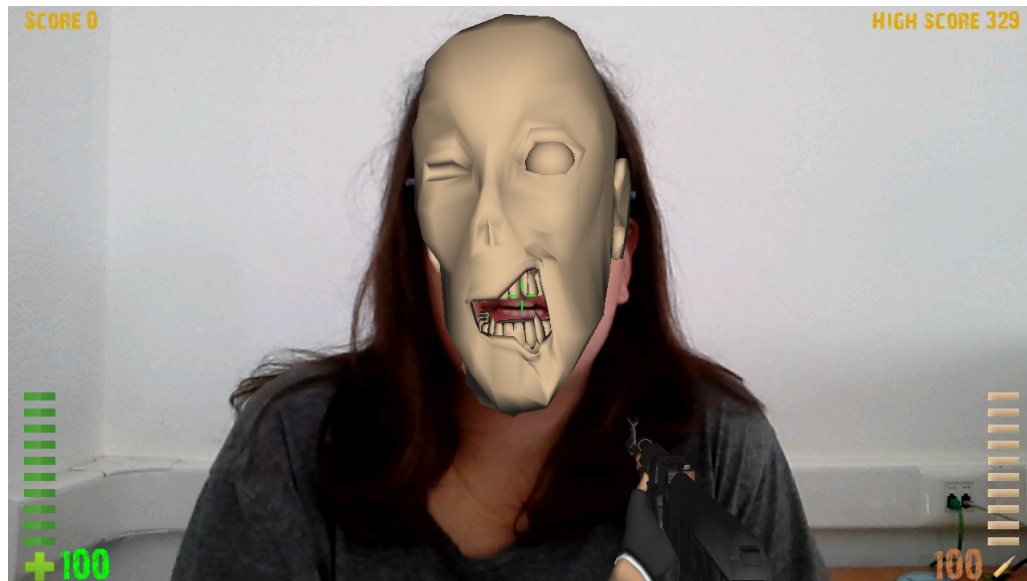


Figura 3.13: Resultado do alinhamento entre a face da pessoa e o modelo virtual.

mecanismo que permita aos utilizadores andarem livremente pelo mundo real.

O jogo ARZombie destina-se a ser jogado num *tablet*, um dispositivo pessoal, relativamente leve e fino, quando comparado com os dispositivos, como os *Head-mounted displays*. Através deste dispositivo móvel, dá-se ao utilizador total liberdade de utilização e movimentação.

ARZombie tira proveito dos recursos naturais existentes no meio ambiente, neste caso, das faces das pessoas. Tendo a capacidade de detetar as faces humanas, este jogo não tem restrições de localização. Quer isto dizer que não é necessário ter conhecimento prévio da localização do jogador, dos cenários por onde este se desloca, nem dos vários *zombies* que se vão cruzando como ele.

Na figura 3.14 podemos observar a utilização deste jogo num cenário ao ar livre e na figura 3.15 o jogador utiliza o seu *tablet* de forma a jogar no interior de um edifício.

3.2.2.5 Iluminação

Em termos de jogabilidade, é necessário ter em consideração o desempenho dos componentes de deteção e de reconhecimento facial. A possibilidade do jogador treinar um conjunto de pessoas e de poder jogar em condições de iluminação variadas (dentro de edifícios e ao ar livre), poderá condicionar, por vezes, o correto funcionamento do jogo.

Se considerarmos a deteção dos cantos de uma casa, estes são fáceis de localizar e a sua determinação é bastante insensível às variações de iluminação.

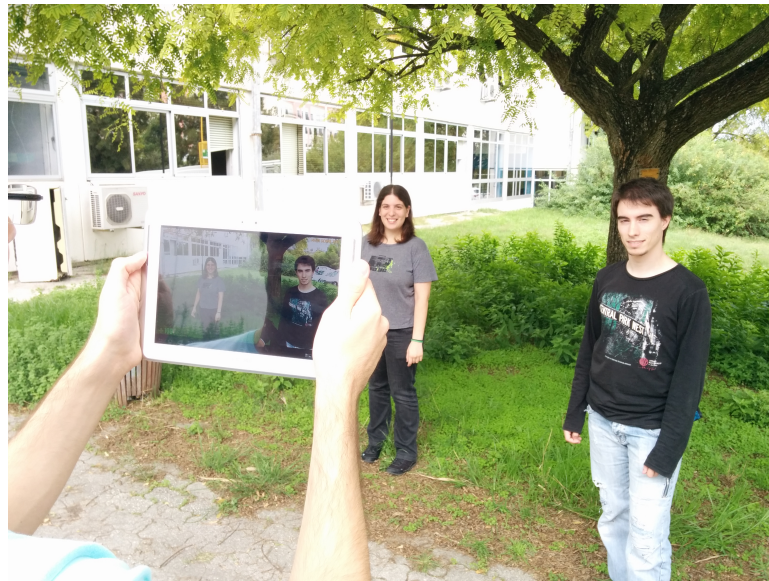


Figura 3.14: Utilização do jogo ARZombie ao ar livre.



Figura 3.15: Utilização do jogo ARZombie num corredor.

Quando se fala na deteção e no reconhecimento de faces a situação é diferente. No processo de treino da aplicação (na determinação das pessoas que são *zombies*), as faces recolhidas têm de abranger um vasto leque de condições de iluminação. Se o conjunto de treino estiver preparado para detetar e reconhecer os vários rostos em situações de maior claridade, por vezes, a utilização do jogo num corredor de um edifício sem grandes condições de iluminação poderá não funcionar como esperado.

É importante demonstrar ao utilizador que a qualidade da recolha dos rostos de cada pessoa é um passo importante para uma utilização do jogo de forma mais eficiente.

3.3 Jogo

Desenvolvidos os vários componentes essenciais deste estudo, integram-se as várias tecnologias num jogo. Como tal, ARZombie demonstra aos utilizadores a integração entre a realidade aumentada e o reconhecimento facial. Assim que o jogador inicia a aplicação tem disponíveis várias opções de escolha (como se pode observar pela figura 3.16):



Figura 3.16: Menu principal da aplicação ARZombie.

- O modo *single player*, através do qual o utilizador inicia o jogo e tem como objetivo fazer a melhor pontuação possível (eliminando os *zombies*);
- O modo de treino, onde o jogador define as pessoas que serão identificadas como *zombies*.

- O tutorial, que ajuda o utilizador a perceber o mecanismo do jogo e as respectivas interações disponíveis;
- As opções, que dão a possibilidade ao jogador de escolher um conjunto de alternativas de jogo;
- Informação extra, referente aos criadores do jogo;
- A pontuação máxima atingida pelo jogador.

Nesta secção serão abordados mais em detalhe o modo *single player*, o modo de treino e as opções disponíveis.

3.3.1 Modo *single player*

Depois de o utilizador ter treinado as faces a reconhecer e de ter visto pelo menos uma vez um breve tutorial, que explica todos os detalhes essenciais do mecanismo do jogo, o modo *single player* dá início a um novo jogo, mostrando a sua interface principal. É através deste modo de jogo que o utilizador tentará obter a melhor pontuação possível, eliminando os vários *zombies*. De modo a não perder o jogo, o utilizador terá que garantir que a sua vida restante não chegue aos 0%. A fim de mostrar como a interface do jogo poderia ser criada, alguns esboços foram desenvolvidos, como se observa na figura 3.17. Depois de algumas iterações do desenho da interface, o resultado final apresentado a todos os jogadores é apresentado na figura 3.18

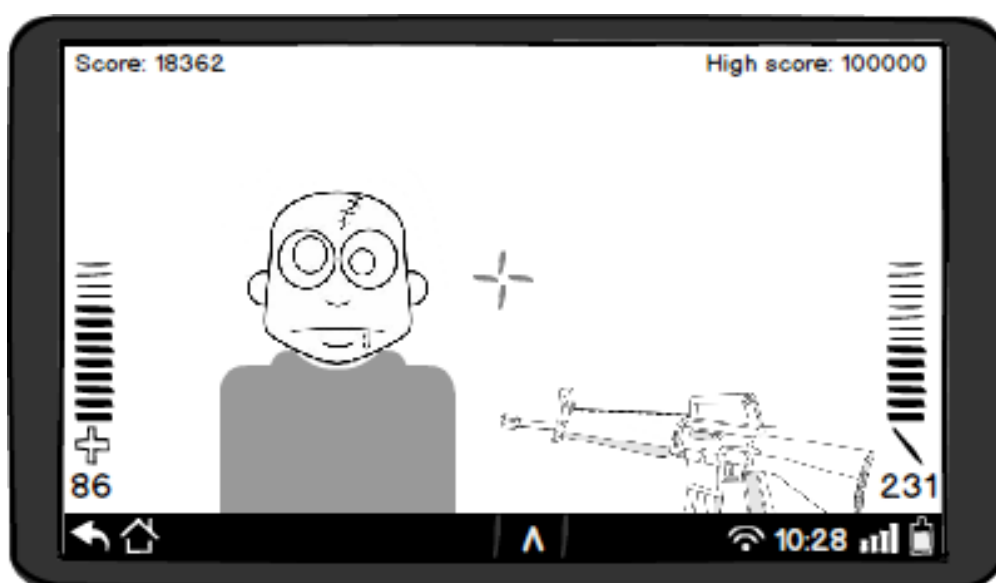


Figura 3.17: Um esboço da interface do jogo.

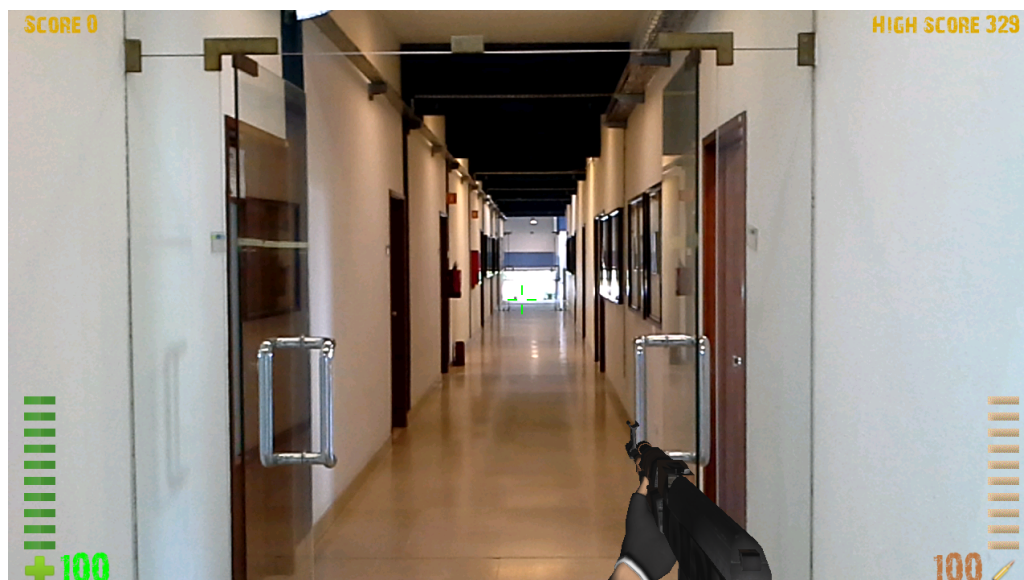


Figura 3.18: Interface do jogo ARZombie.

Neste ecrã de jogo existem elementos que estão sempre visíveis, como a pontuação, o ícone das opções, a vida do jogador, a arma e a munição restante, e existem outros que surgem momentaneamente durante o decorrer do jogo, como os *zombies* e os bónus.

3.3.1.1 Arma e munição

Assim que surge um *zombie* no ecrã (figura 3.19), o jogador, de modo a não perder o jogo, terá que o eliminar. Como tal, nesta fase do jogo o jogador irá utilizar a sua arma. Neste jogo estão disponíveis dois tipos de disparo: manual e automático. No modo de disparo manual, o utilizador toca na região do lado esquerdo do ecrã (considerando que se divide o ecrã em duas metades). No modo de disparo automático, assim que a mira (que está no centro do ecrã) estiver alinhada com os *zombies* que vão surgindo, a arma começa a disparar. A cada disparo produzido o jogador pode visualizar, no ecrã, a animação que corresponde a essa ação.

Por cada tiro (automático ou não) o número de balas vai decrementando 1 unidade. Se o jogador esgotar a sua munição, este poderá recarregar a sua arma tocando na região direita do ecrã. Por cada recarregamento o número de balas volta novamente a 100%.

3.3.1.2 Pontuação e nível

O jogador ganha pontos cada vez que elimina um *zombie*. Por cada criatura que eliminar, o jogador soma um determinado número de pontos à sua pontuação



Figura 3.19: Detecção de um *zombie* no decorrer do jogo.

atual. Os pontos são calculados de acordo com o nível em que o jogador se encontra (quanto maior for o seu nível, mais pontua), o tempo que demorou a eliminá-lo (quando mais tempo demorar, menos pontos recebe) e a distância que estava do *zombie* (onde uma maior distância traduz-se numa maior pontuação).

A subida de nível por parte do jogador está dependente da forma como elimina os *zombies*. O jogador aumenta de nível cada vez que acumula um certo conjunto de pontos e, portanto, a cada patamar atingido, o jogo torna-se mais difícil.

3.3.1.3 Vida

A vida do utilizador determina o fluxo do jogo. Assim que o jogador perder toda a sua percentagem de vida, o jogo termina. O jogador perde vida sempre que um *zombie* esteja presente no ecrã. A percentagem de vida que o utilizador perde é determinada a partir do tempo que a criatura estiver visível no ecrã do jogo e de acordo com o nível atual do jogador (níveis mais elevados, correspondem a um maior dano).

3.3.1.4 Bónus

Os bónus surgem no ecrã de forma aleatória, tanto em termos temporais (tempo que demoram a aparecer no ecrã) como em termos da sua posição no ecrã. De modo a ativar o bónus o jogador terá que tocar no ecrã, no local onde este se encontra. A figura 3.20 dá um exemplo de uma situação onde, no decorrer do

jogo, surge um bônus. A ajuda fornecida pelos bônus também é aleatória e pode ser de três tipos:

- Vida, permitindo que o jogador recupere uma percentagem da sua vida;
- Armadura, protegendo momentaneamente o jogador de qualquer dano proveniente dos inimigos;
- Arma, melhorando a qualidade da arma do jogador, durante um certo período de tempo, eliminando os *zombies* mais rapidamente.



Figura 3.20: Presença de um bônus no ecrã do jogo.

3.3.2 Modo de treino

O jogo ARZombie dá ao utilizador a oportunidade de definir quem são os *zombies* a eliminar. Portanto, visto que o treino dos modelos no componente de reconhecimento facial é uma fase importante do jogo, são apresentadas instruções simples que darão ao utilizador uma contextualização do propósito desta fase do jogo. Assim que o jogador ler as instruções, estará pronto a definir os seus amigos e familiares como *zombies* (figura 3.21).

A partir do momento em que é detetada a primeira face, o sistema vai recolhendo imagens dessa pessoa, informando o jogador de quantas imagens já recolheu (figura 3.22). Quando o jogador decidir que já recolheu imagens suficientes relativas à primeira pessoa, este pode optar por terminar o processo de treino ou definir mais pessoas como *zombies*.



Figura 3.21: Menu de treino do jogo ARZombie.

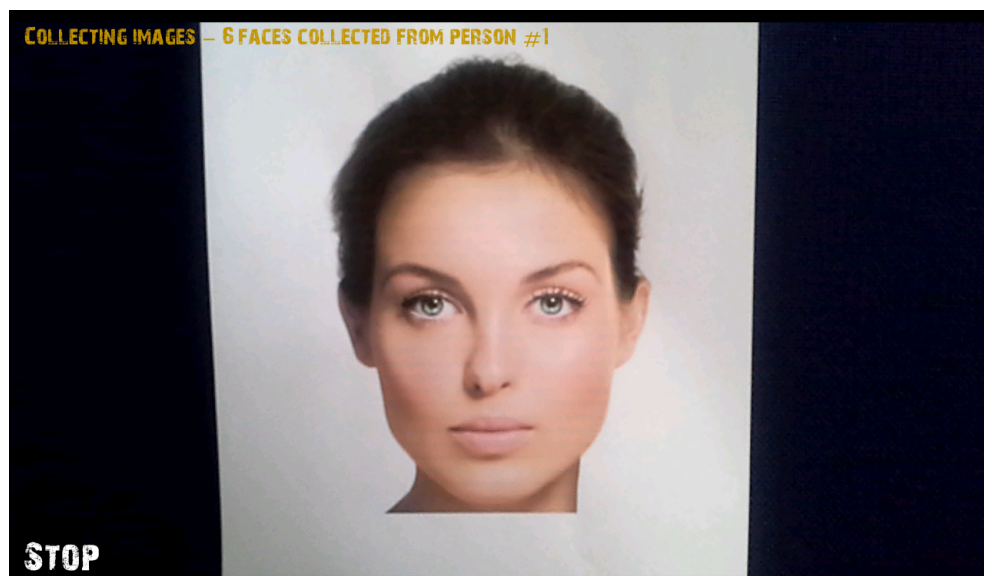


Figura 3.22: Processo de treino do jogo ARZombie.

Se iniciar a captura do conjunto de faces de uma segunda pessoa, o sistema do jogo irá comportar-se como anteriormente, recolhendo imagens da segunda pessoa. Se o jogador terminar o processo de treino, o jogo processa todas as imagens capturadas, inicia o processo de treino e quando terminar guarda essa informação num ficheiro YAML. Se a aplicação guardar o modelo treinado com sucesso, notifica o utilizador da ação concluída e retorna ao menu inicial. Caso pretenda, o jogador pode novamente definir outras pessoas como *zombies*, mas será alertado para o facto de já existir um modelo treinado com determinadas pessoas e que essa informação será eliminada (figura 3.23).

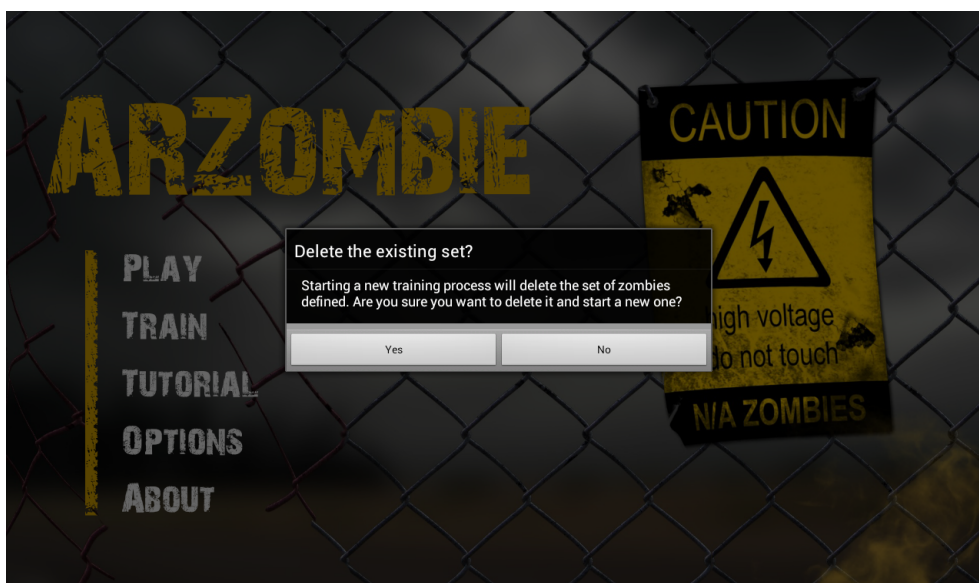


Figura 3.23: Aviso de eliminação do modelo de treino existente na aplicação.

3.3.3 Opções

A configuração de certas opções do jogo estão disponíveis para o utilizador alterar a seu gosto, sendo a mais importante, referente ao modo como são detetados os olhos. Como a figura 3.24 demonstra, o utilizador pode:

- Ligar ou desligar o som do jogo, onde os sons envolvem a música de fundo, os disparos e os ruídos produzidos pelos *zombies*;
- Ativar ou desativar a vibração produzida ao disparar a arma durante o jogo;
- Alterar o modo de disparo da arma entre automático e manual;

- Modificar a forma como são detetados os olhos, onde temos três alternativas (detetar a partir de um modelo XML, através de contornos ou não detetar os olhos).



Figura 3.24: Várias opções disponíveis no jogo ARZombie.

4

Testes e resultados experimentais

Neste capítulo são apresentados e analisados os resultados obtidos na avaliação dos vários algoritmos desenvolvidos para os diferentes componentes do jogo. Os testes realizados e os respetivos resultados experimentais estão divididos em três secções: deteção de faces, reconhecimento facial e usabilidade.

4.1 Deteção de faces

Para avaliar os algoritmos utilizados na componente de deteção facial foi utilizada a base de dados pública “Labeled Faces In The Wild” [HRBLM07]. É interessante utilizar esta base de dados, porque foi elaborada tendo em conta um dos fatores mais importantes da deteção e reconhecimento de faces, a interação dos sistemas com um ambiente não controlado. Desta forma, a sua utilização tem como objetivo simular um ambiente semelhante ao que se pode encontrar no jogo ARZombie, onde os jogadores têm liberdade total para se movimentarem pelo cenário. Esta base de dados contém mais de 13000 imagens de faces recolhidas a partir da Web. Cada face tem um nome associado (o nome da pessoa em questão), onde 1680 das pessoas têm duas ou mais fotografias distintas no conjunto de dados.

Nestes testes relativos à deteção de faces, as imagens foram analisadas através da câmara do dispositivo móvel (Samsung Galaxy Note 10.1). Sendo mais importante observar o comportamento da captura das imagens e da execução

dos algoritmos no próprio ambiente de jogo, todos os testes foram registados em tempo real através da execução da aplicação.

Nesta secção, os três algoritmos a serem testados envolvem todos o mesmo processo de detecção facial. Apesar disso, os algoritmos divergem na forma de detetar os olhos. O primeiro deteta os olhos através do classificador *Haar Cascades*, o segundo deteta os olhos através de um algoritmo baseado na detecção de contornos e o terceiro não executa qualquer detecção dos olhos. Como tal, é registado o desempenho destes algoritmos através da análise da percentagem de faces encontradas, onde os dois algoritmos que detetam os olhos são bem-sucedidos quando encontram tanto a face como ambos os olhos. Também é recolhida a informação relativa à distância mínima a que são detetadas as faces e os olhos.

4.1.1 Análise dos dados

Com a aplicação ARZombie a decorrer, um conjunto de 105 imagens foram utilizadas para avaliar os três algoritmos referidos anteriormente. Na tabela 4.1 apresentam-se os resultados obtidos.

	Classificador		Contornos		Sem detecção	
	Faces	%	Faces	%	Faces	%
Faces detetadas	104	99%	86	82%	105	100%
Faces não detetadas	1	1%	19	18%	0	0%

Tabela 4.1: Resultados obtidos pelos três algoritmos de detecção de faces.

Como se pode observar, para cada algoritmo testado foram registados o número de vezes que foram detetadas com sucesso as várias pessoas. Pode-se constatar através desta tabela que o algoritmo que não deteta os olhos tem um registo 100% eficiente. A introdução da detecção dos olhos aumenta a complexidade dos outros dois algoritmos e portanto a sua capacidade de detetar todas as faces diminui. Apesar disso, o algoritmo que utiliza o classificador *Haar Cascades* tem um comportamento bastante eficaz, falhando apenas numa situação. Já o algoritmo que deteta os olhos através da detecção de contornos obteve resultados menos satisfatórios. A dificuldade de detetar com sucesso os rostos, por parte deste algoritmo, deve-se ao facto de várias pessoas terem os olhos fechados. Na figura 4.1 pode-se verificar uma situação em que este algoritmo não conseguiu detetar ambos os olhos corretamente.

Em relação à distância entre o jogador e as faces detetadas, os resultados são apresentados de seguida, através das figuras 4.2, 4.3 e 4.4. Nestes gráficos estão



Figura 4.1: Detecção sem sucesso do algoritmo que deteta os olhos através de contornos.

indicadas, de forma aproximada, as dimensões das faces que foram corretamente detetadas. Como o componente de detecção facial delimita as faces através de um quadrado, o valor apresentado nos gráficos está associado ao tamanho, em píxeis, da face detetada no ecrã do dispositivo. Ou seja, quanto maior for o valor registado, mais próximo está a face da câmara do dispositivo. A reta horizontal presente no gráfico representa a média aproximada de todas as distâncias de cada algoritmo.

Pode-se verificar que os três algoritmos têm diferentes comportamentos, sendo o algoritmo que não deteta os olhos capaz de funcionar corretamente a uma distância superior. Consegue-se também concluir que este algoritmo tem um melhor desempenho em termos da percentagem de faces corretamente detetadas, quando comparado com os outros dois algoritmos. O método que utiliza o classificador também demonstra uma boa capacidade de detecção, com 99%, mas, em termos de distância, o jogador necessita de estar mais próximo das pessoas, de modo a que este consiga detetar os olhos. O algoritmo baseado em contornos demonstra ter um desempenho inferior aos outros algoritmos. Apesar disso, este método deteta com sucesso a distâncias superiores, quando comparado com o método baseado no classificador *Haar Cascades*.

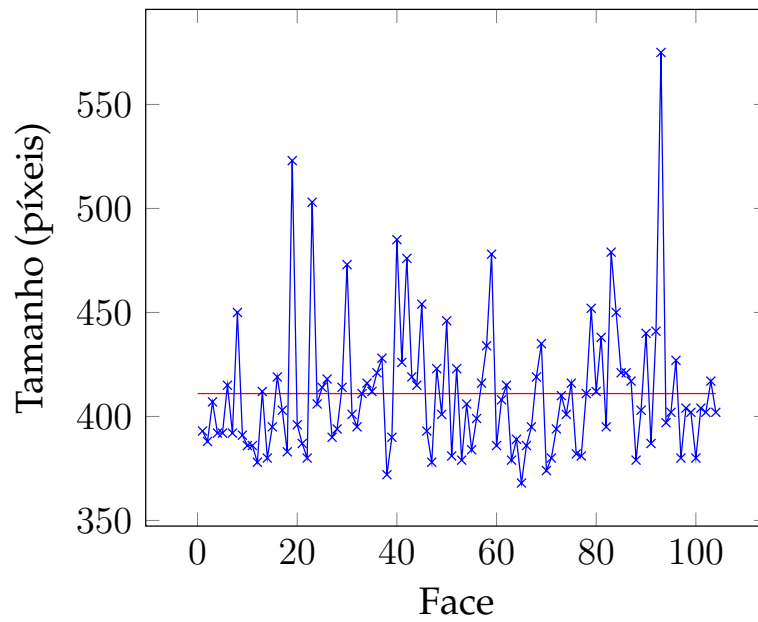


Figura 4.2: Dimensão das faces detetadas através do algoritmo baseado num classificador.

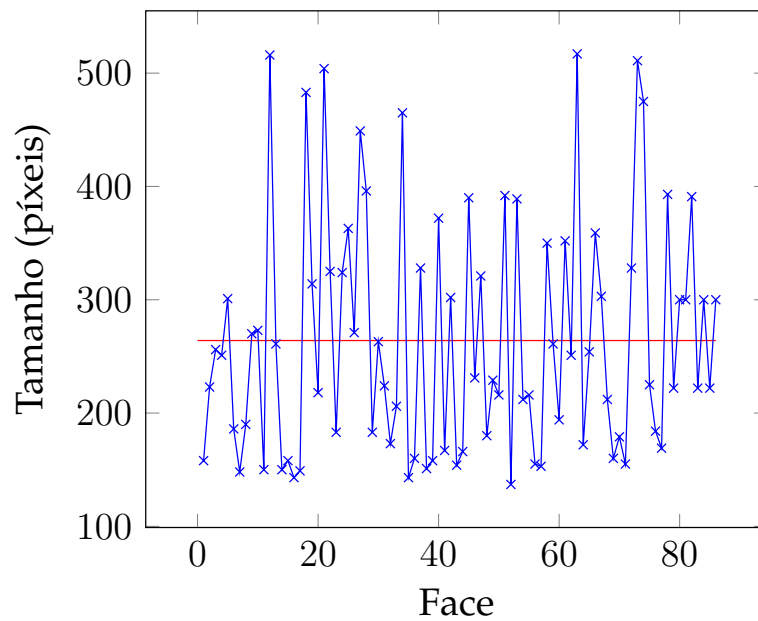


Figura 4.3: Dimensão das faces detetadas através do algoritmo baseado em contornos.

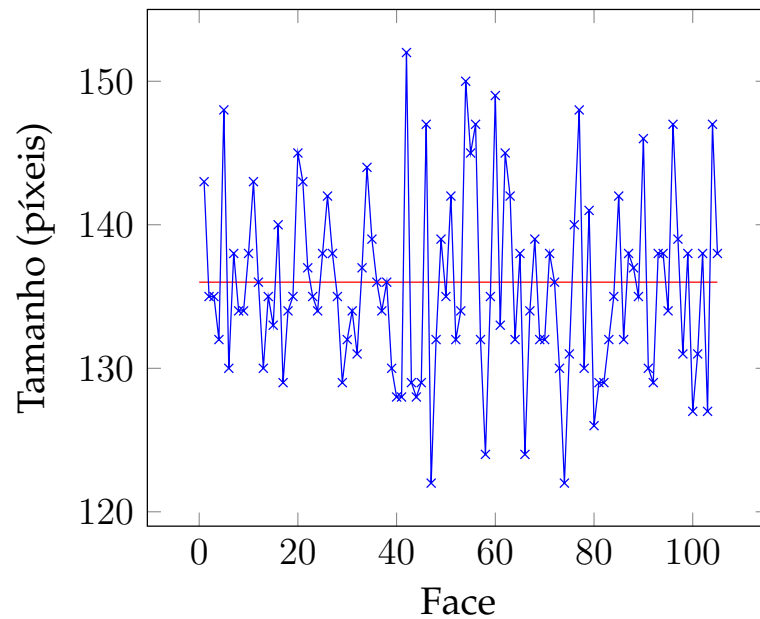


Figura 4.4: Dimensão das faces detetadas através do algoritmo que não deteta os olhos.

4.2 Reconhecimento facial

A análise dos resultados dos algoritmos utilizados na componente de reconhecimento facial é feita de forma muito semelhante à da deteção facial. Também é usada a base de dados pública referida na secção anterior (Labeled Faces In The Wild), pelos mesmos motivos referidos anteriormente.

Nestes testes relativos ao reconhecimento facial, as imagens são treinadas e reconhecidas através da câmara do dispositivo móvel (Samsung Galaxy Note 10.1). O jogo ARZombie dá liberdade ao utilizador de definir quais as pessoas que são associadas como *zombies* a eliminar. Como tal, através da aplicação são recolhidas todas as faces para serem treinadas e foram reconhecidas as várias faces posteriormente.

Depois do processo de treino estar concluído, é necessário proceder ao reconhecimento, tanto de pessoas que já estejam no sistema como de outras pessoas desconhecidas (que não entraram no processo de treino). No conjunto de dados a utilizar são apenas consideradas, para o processo de treino, aquelas que contêm mais imagens associadas. Cerca de 180 imagens (30 imagens de 6 pessoas distintas) foram utilizadas para a realização dos testes. Como tal, uma percentagem das pessoas existentes é treinada, onde, para cada pessoa, são recolhidas cerca de 15 imagens do conjunto existente. As restantes imagens (num total de 15) são utilizadas para avaliar o mecanismo de reconhecimento.

Para a avaliação destes algoritmos será utilizado o método de validação cruzada. A validação cruzada é uma técnica utilizada para avaliar a capacidade de generalização de um modelo, a partir de um conjunto de dados. Nestes testes foi utilizado o método de validação cruzada denominado 2-fold. Este método consiste em dividir o conjunto total de dados em 2 subconjuntos mutuamente exclusivos do mesmo tamanho e, a partir disto, um subconjunto é utilizado para a fase de treino e o outro conjunto é utilizado para a fase de reconhecimento. Este processo é realizado 2 vezes alternando os dois subconjuntos, ou seja, na segunda iteração dos testes, o subconjunto de reconhecimento é aplicado na fase de treino e o subconjunto de treino é utilizado para avaliar o desempenho dos algoritmos de reconhecimento.

Novamente, os três algoritmos testados envolvem o mesmo processo de detecção facial e divergem no seu modo de detecção dos olhos, como referido na secção anterior. Para avaliar o desempenho de cada um destes algoritmos, é feito um levantamento do número de vezes que o reconhecimento foi feito com sucesso. Ou seja, sempre que reconhecer corretamente um *zombie*, que foi inserido no conjunto de treino, e sempre que não reconhecer uma nova pessoa. Como tal, foram construídas matrizes de confusão, uma para cada algoritmo, apresentadas nas tabelas 4.2, 4.3 e 4.4.

		Reconhecimento		Total
		Não <i>zombie</i>	<i>Zombie</i>	
Grupo	Não <i>zombie</i>	20	10	30
	<i>Zombie</i>	18	132	150

Tabela 4.2: Resultados obtidos pelo algoritmo de reconhecimento facial baseado num classificador.

		Reconhecimento		Total
		Não <i>zombie</i>	<i>Zombie</i>	
Grupo	Não <i>zombie</i>	22	8	30
	<i>Zombie</i>	62	88	150

Tabela 4.3: Resultados obtidos pelo algoritmo de reconhecimento facial baseado em contornos.

Nestas tabelas podemos observar qual foi a previsão dada pelos três algoritmos a cada face detetada, face ao grupo a que essa face realmente pertence. Cada tabela apresenta quatro conceitos distintos: (1) *positive hits*, (2) *negative hits*, (3) *positive misses* e (4) *negative misses*. O número de *positive hits* representa o número

Grupo	Reconhecimento			Total
		Não zombie	Zombie	
	Não zombie	22	8	30
	Zombie	65	85	150

Tabela 4.4: Resultados obtidos pelo algoritmo de reconhecimento facial que não deteta os olhos.

de vezes que, dada uma face de um *zombie*, o algoritmo classificou-a como sendo *zombie*. *Negative hits* significa que, dada uma face de uma pessoa que não é *zombie*, o algoritmo classificou-a como não fazendo parte do grupo dos *zombies*. *Positive misses* descrevem as situações em que os algoritmos reconheceram uma face como pertencendo ao grupo dos *zombies*, apesar de esta não ser. De forma semelhante, os *negative misses* representam as situações em que os algoritmos atribuíram uma face como pertencendo ao grupo dos não *zombies*, quando essa mesma face deveria ter sido considerada como *zombie*. Estes conceitos estão presentes nas tabelas apresentadas anteriormente da seguinte forma (apresentada na tabela 4.5):

Grupo	Reconhecimento		
		Não zombie	Zombie
	Não zombie	<i>Negative hits</i>	<i>Positive misses</i>
	Zombie	<i>negative misses</i>	<i>Positive hits</i>

Tabela 4.5: Representação dos conceitos de *hit* e *miss* numa tabela.

Podemos observar que nos testes feitos os vários algoritmos são capazes de obter resultados satisfatórios (tendo em conta o elevado grau de variabilidade das várias imagens testadas). Em termos de desempenho, o algoritmo que usa um classificador obteve melhores resultados com uma precisão de aproximadamente 84%. Já o algoritmo que se baseia em contornos teve uma precisão de 61%. O pior desempenho foi obtido pelo algoritmo que não deteta os olhos com uma precisão de 59%.

Através da comparação das tabelas, pode-se verificar que houve um decréscimo da precisão dos algoritmos sempre que a deteção dos olhos diminuía de complexidade. Sempre que o desempenho na determinação da posição dos olhos era reduzido, através do algoritmo que deteta os olhos a partir de contornos, observou-se um decréscimo no número de *positive hits* e um aumento do número de *negative misses*. Esta tendência verificou-se também para o algoritmo que não deteta os olhos, podendo-se concluir que a correta determinação da posição dos olhos, para posterior utilização no processo de normalização, é essencial para o bom funcionamento dos algoritmos de reconhecimento facial.

4.3 Usabilidade

Esta secção descreve o processo de avaliação do jogo desenvolvido, feito por vários utilizadores, através de testes de usabilidade. Neste processo, a aplicação é apresentada a um conjunto de utilizadores para que estes a possam testar e avaliar. Estas sessões de testes foram realizadas, na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, por os alunos da faculdade. Com o objetivo de garantir a satisfação global dos utilizadores, o principal foco de atenção é dado aos seguintes aspetos:

- Acessibilidade e facilidade de utilização (interface e a navegação dentro do jogo);
- Facilidade na identificação de elementos virtuais (permitindo que o jogador supere qualquer desafio e, portanto, elimine facilmente os *zombies* e ative os vários bónus que surjam no decorrer do jogo);
- Correto ajuste dos vários fatores do jogo, como a gestão da pontuação, da vida e da munição;
- Análise das reações dos jogadores ao longo da utilização da aplicação;

Os testes consistem num conjunto de tarefas que os utilizadores devem executar. Para tal será utilizado um Samsung Galaxy Note 10.1 como dispositivo de interação móvel entre o jogador e a aplicação. De forma a garantir que o jogo seja apresentado da mesma forma a todos os avaliadores, a utilização do jogo é feita no mesmo dispositivo. Como tal, o objetivo de cada jogador é obter o maior número de pontos possível, interagindo com o jogo sem qualquer auxílio de outra pessoa presente na sala.

Esta avaliação do jogo envolve diferentes tipos de utilizadores, alguns já com experiência neste tipo de área (envolvendo sistemas de reconhecimento facial e realidade aumentada) e outros com pouca ou nenhuma experiência com tais aplicações. Estes também podem submeter as suas opiniões sobre erros e outras funcionalidades que podem vir complementar e melhorar a jogabilidade da aplicação.

4.3.1 Recolha de dados

Para além da recolha e documentação das observações e sugestões feita pelos utilizadores, um questionário foi criado e entregue aos avaliadores para serem

preenchidos anonimamente (ver questionário no anexo A). O questionário está dividido em duas partes: uma sobre o perfil do utilizador e outra sobre a avaliação do jogo. A primeira parte tem como objetivo resumir o perfil do utilizador, ou seja, a sua idade, sexo e familiaridade com as tecnologias existentes no jogo (realidade aumentada e reconhecimento facial). A segunda parte tem como objetivo avaliar a jogabilidade através da classificação das características do sistema, para uma análise quantitativa, e através de sugestões e comentários, para uma análise qualitativa. Visto que os utilizadores são todos portugueses, o questionário é escrito em Português. No questionário, os utilizadores indicam o seu nível de concordância com cada afirmação, indicando apenas um dos cinco valores da escala de Likert, onde cada valor tem o seguinte significado:

1. Discordo totalmente;
2. Discordo parcialmente;
3. Indiferente;
4. Concordo parcialmente;
5. Concordo totalmente.

4.3.2 Análise dos dados

Esta secção descreve os resultados obtidos nos questionários, onde 15 utilizadores tiveram a oportunidade de utilizar a aplicação desenvolvida. As respostas dos vários utilizadores após os testes de usabilidade são apresentados com maior detalhe no anexo B.

4.3.2.1 Participantes

Dos 15 utilizadores 93% são do sexo masculino e 7% são do sexo feminino (B.2). Os utilizadores são todos estudantes de Engenharia Informática e tinham idades entre os 22 e os 26 anos, sendo a faixa etária dos 24 anos a mais predominante com 54% (B.1). Em relação aos jogos de realidade aumentada, 73% dos utilizadores responderam que estavam familiarizados com este tipo de jogos e os restantes 27% responderam que não (B.3). No final dos testes os utilizadores sentiram-se, em geral, satisfeitos com o jogo ARZombie, onde até 33,33% dos utilizadores responderam que ficaram muito satisfeitos, como se pode observar pela figura 4.5. Os utilizadores que utilizaram a aplicação também consideraram que a aplicação respondia às suas ações rapidamente (B.24).

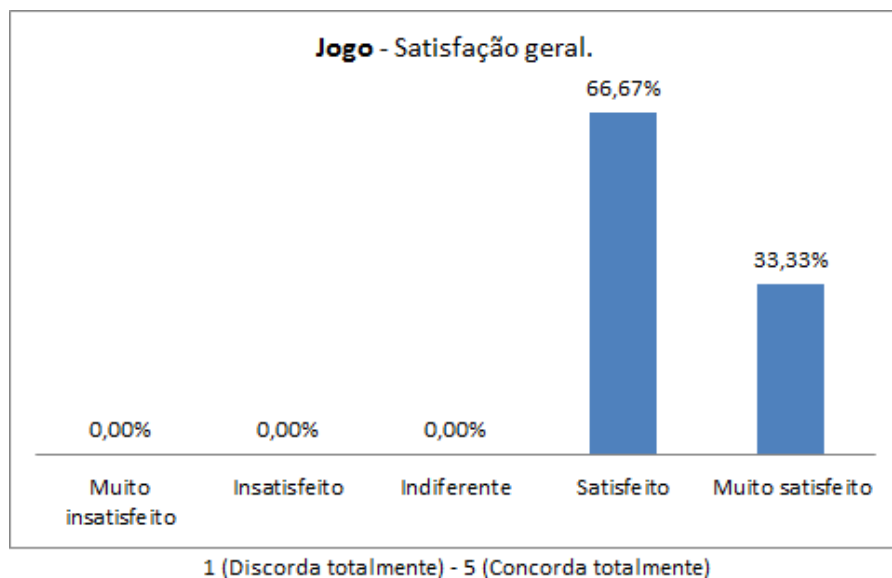


Figura 4.5: Satisfação geral dos utilizadores face ao jogo ARZombie.

4.3.2.2 Aprendizagem

A aprendizagem foi um dos temas abordados nos inquéritos. Em relação a este assunto, tentou-se perceber se a aplicação e os mecanismos do próprio jogo eram difíceis de entender e de interagir. Numa escala de 1 a 5, 73,33% dos inquiridos concordaram totalmente (nível 5) sobre a facilidade de aprender a jogar (B.4). Os restantes 26,67% responderam com nível 4 (concorda). Quando questionados sobre a facilidade de interação com o jogo, 73,33% concordaram totalmente com esta afirmação, dados que podem ser observados na figura 4.6.

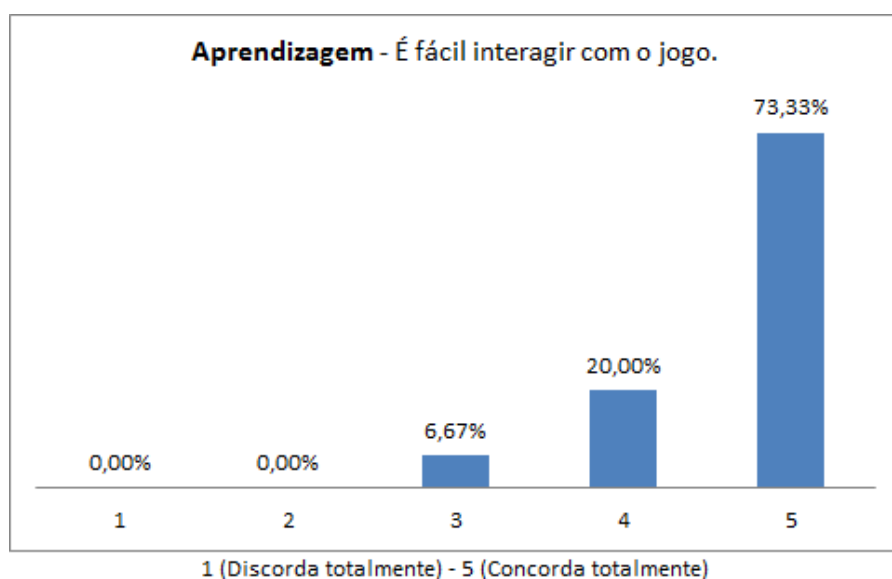


Figura 4.6: Facilidade de interação com o jogo ARZombie.

Noutro aspeto, 86,67% dos utilizadores concordaram totalmente que a adaptação ao jogo foi facilmente atingida (B.6). Apesar disso, as opiniões dividiram-se em relação à necessidade de ajuda para interagir com a aplicação, onde 13,33% dos utilizadores concordaram com essa afirmação (B.7). Para melhorar este assunto, foi adicionada uma secção tutorial na aplicação, que explica de forma simples e resumida o modo como se interage com o jogo. Por último, 53,33% dos utilizadores responderam com nível 5 e 46,67% com nível 4 (concorda totalmente e concorda, respetivamente) sobre a estrutura da aplicação (B.8).

4.3.2.3 Movimentação e interação

Relativamente à movimentação do utilizador pelo cenário, observou-se que os utilizadores deslocavam-se facilmente pelo cenário. Como tal, 73,33% concordaram totalmente quando questionados sobre a capacidade de se movimentar livremente no decorrer do jogo (figura 4.7). No que toca à interação com o próprio jogo, a maioria considerou que as interações com o jogo eram naturais, em termos de movimentação pelo cenário, disparo da arma e ativação de bónus (B.10).

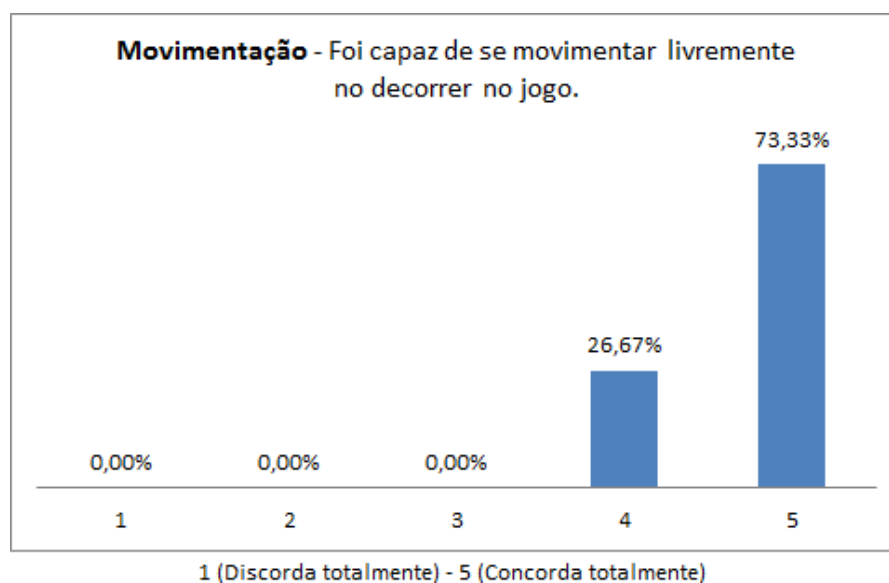


Figura 4.7: Facilidade de movimentação durante a utilização do jogo.

4.3.2.4 Informação

Sobre a informação fornecida ao utilizador no decorrer do jogo, vários aspetos foram analisados. Foi dado um maior destaque os aspetos que envolveram a visualização dos modelos 3D (*zombies*, bónus e arma), aos aspetos sonoros (disparo da arma, som produzido pelos *zombies*) e à informação presente no ecrã. Em

relação aos vários modelos 3D apresentados, os utilizadores tiveram facilidade em detetar os *zombies* que surgiam no ecrã do dispositivo (figura 4.8) e a maioria também considerou que os bónus foram facilmente detetados (B.17). Uma grande parte dos inquiridos concordou (46,67%) e concordou totalmente (33,33%) que os aspetos visuais envolveram o utilizador durante o jogo (B.11).

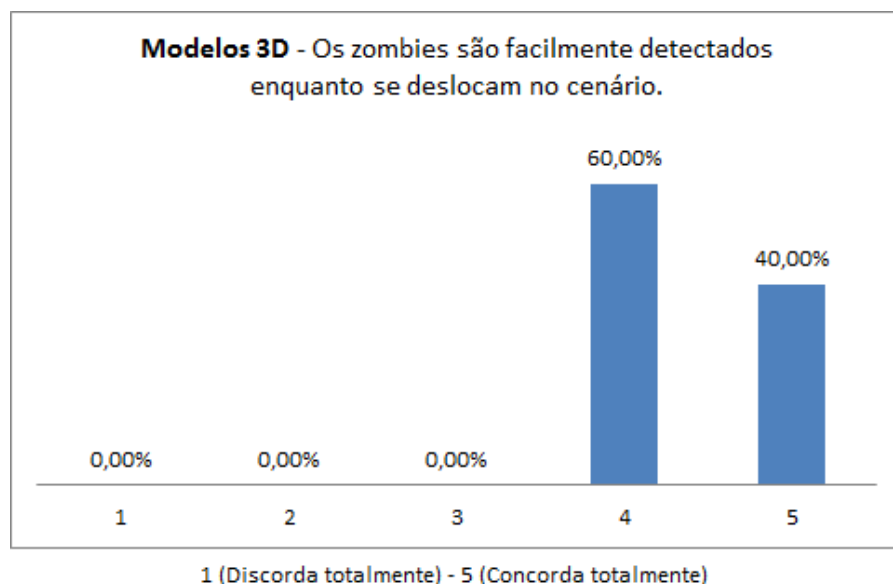


Figura 4.8: Facilidade em detetar os *zombies* no decorrer do jogo.

Em relação aos aspetos sonoros, 40% concordaram e 40% concordaram totalmente que os aspetos sonoros também envolveram o utilizador no decorrer do jogo (B.12).

Na interface do jogo está presente a pontuação atual do jogador, o seu recorde pessoal, a sua vida restante e também a munição da arma. Quando questionados sobre se os utilizadores estavam cientes da informação apresentada na interface, estes responderam que estavam cientes (B.13) e que essa informação não era distrativa e não impedia o jogador de observar o cenário (figura 4.9).

4.3.2.5 Controlo

Sobre o controlo observou-se que os utilizadores não tiveram dificuldades em eliminar os vários *zombies* (B.18) e em ativar os bónus. Apenas um utilizador considerou que era um pouco difícil a ativação de alguns bónus (figura 4.10.). Este utilizador sugeriu que, para utilizadores que têm a tendência de utilizar constantemente as duas mãos para segurar o *tablet*, a posição dos bónus no ecrã aparecessem numa área mais próxima dos polegares.

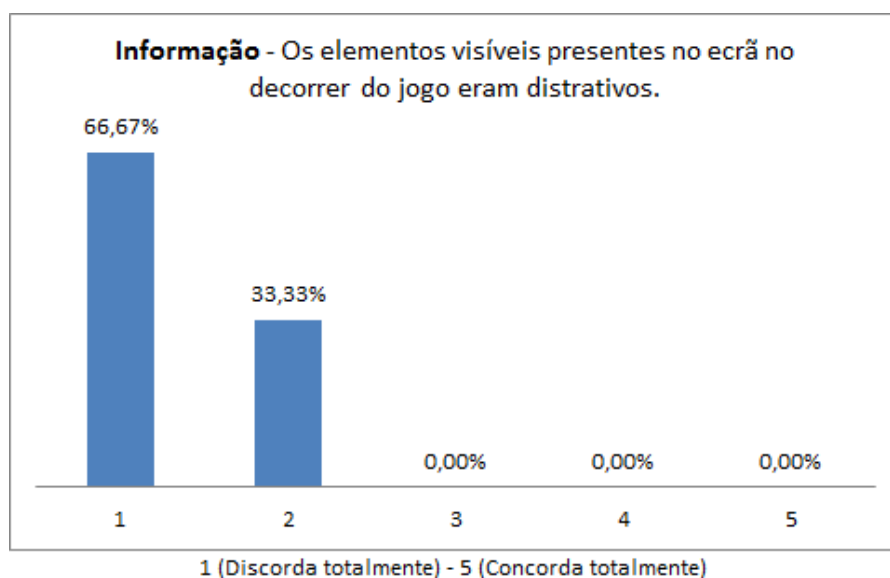


Figura 4.9: Distração relativamente aos elementos presentes no ecrã do jogo.

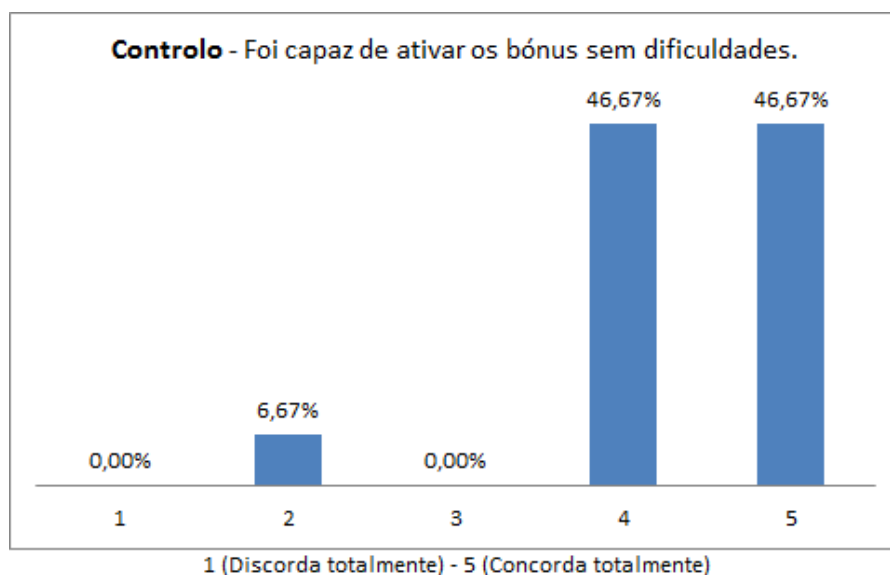


Figura 4.10: Facilidade em ativar os bónus no decorrer do jogo.

Relativamente aos dois modos de disparo apresentados, os utilizadores consideraram que a utilização de ambos os modos de disparo eram confortáveis, sendo mais interessante para estes o modo de disparo manual, face ao modo de disparo automático (B.21 e B.20). Sendo fácil a interação com ambos os tipos de disparo, a maioria dos jogadores concentrou-se mais no jogo e não na forma de disparar contra os *zombies* (B.15).

4.3.2.6 Dificuldade

Em termos da dificuldade do jogo as opiniões divergiram (figura 4.11), maioritariamente devido à forma como o jogador perdia vida. Muitos utilizadores observaram que o nível de dificuldade do jogo era baixo e gostariam de abordar adversários mais fortes, de modo a que o jogo fosse mais desafiante. Mesmo assim, alguns utilizadores consideram que o nível de dificuldade era adequado (B.23). Portanto, através das opiniões dos utilizadores, foi adicionada uma opção ao jogo que determina a sua dificuldade. Deste modo, o utilizador poderá jogar num nível de dificuldade mais avançado ou mais principiante.

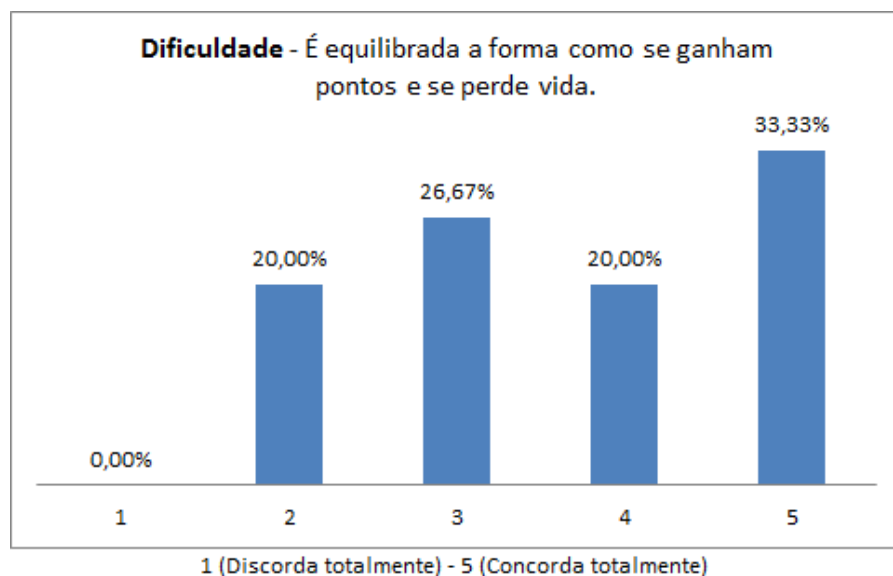


Figura 4.11: Equilíbrio na atribuição de pontos e na remoção de vida.

4.4 Discussão

Vários testes foram apresentados e analisados de forma a avaliar os vários componentes do jogo desenvolvido. Através da análise feita, podemos concluir que os algoritmos de deteção e reconhecimento facial desenvolvidos têm um bom

desempenho, face à variabilidade dos cenários e das pessoas envolvidas. Com estes testes, demonstra-se que os componentes implementados funcionam corretamente, tendo a capacidade para serem integrados tanto no jogo ARZombie, como em qualquer outro sistema. Os resultados mostram que a integração do sistema de deteção e reconhecimento facial com o sistema de realidade aumentada é fiável e pode ser utilizado como uma alternativa aos métodos existentes (como por exemplo, a utilização de marcadores). Em termos de usabilidade, pode-se verificar que os utilizadores ficaram satisfeitos com o jogo apresentado. Através do mecanismo apresentado, é possível melhorar a interação dos jogadores com o mundo real, contribuindo para uma boa experiência de utilização.



Conclusões e trabalho futuro

Neste capítulo são apresentadas as conclusões sobre o trabalho realizado e apontadas algumas sugestões e ideias para melhorar e continuar o desenvolvimento da solução implementada.

5.1 Conclusões

Esta dissertação descreve o desenvolvimento do jogo ARZombie, um jogo de realidade aumentada para *tablet*. Para a realização deste jogo foi necessário estudar e implementar tecnologias ainda pouco exploradas, quando integradas entre si. Como ponto de partida deste projeto temos uma integração entre a realidade aumentada e o reconhecimento facial em dispositivos móveis.

A proposta apresentada neste documento passa por utilizar a detecção e reconhecimento de faces como o principal modo de interação do jogo. Nesta aplicação, o utilizador pode definir amigos e familiares como *zombies*, para depois eliminá-los (disparando contra eles) no decorrer do jogo. No final do jogo será atribuída uma pontuação ao jogador de acordo com o número de *zombies* que eliminou. Através do seguimento das pessoas reconhecidas como *zombies*, modelos 3D são sobrepostos às faces dessas pessoas como forma de indicar a presença de um inimigo a eliminar. Através desta plataforma e das técnicas de interação desenvolvidas, este trabalho teve a capacidade de desenvolver um jogo funcional com uma interação multimodal.

Também neste trabalho foram realizados testes de forma a avaliar a usabilidade e o desempenho do jogo. A partir dos resultados dos testes de usabilidade, podemos concluir que, aproximadamente 67% dos utilizadores ficaram satisfeitos com modo de interação desenvolvido e os restantes 33% ficaram muito satisfeitos. Através da forma como os utilizadores interagiram com a aplicação desenvolvida, pode-se concluir que a integração das tecnologias estudadas é uma opção viável, podendo ser utilizada não só como forma de entretenimento, mas também como um mecanismo para ser explorado nas mais variadas áreas.

Através dos resultados obtidos na avaliação do sistema de jogo, concluiu-se que ao adicionar a deteção dos olhos no componente de deteção de faces, antes do processo de normalização, a precisão do componente de reconhecimento de faces aumenta. Podemos observar que sem a deteção dos olhos o algoritmo de reconhecimento facial obteve uma precisão de 59%. Com a determinação da posição dos olhos através de contornos, a precisão aumentou para os 61%, mas foi através do algoritmo que usa um classificador que se obteve os melhores resultados, com uma precisão de 84%. Apesar disso, ao aumentar a complexidade na determinação da posição dos olhos, mais próximo o utilizador tem de estar das várias pessoas que se vão cruzando com ele e mais computação é exigida à aplicação, diminuindo a sua fluidez.

5.2 Trabalho futuro

Numa perspetiva de trabalho futuro podem ser sugeridas algumas tarefas, como a exploração do tema da realidade aumentada em Google Glasses, o desenvolvimento de um algoritmo dinâmico e a adição de outros elementos gráficos à interface.

5.2.1 Google Glass

Um dos objetivos futuros está relacionado com a avaliação de novas técnicas, de forma a modificar ou otimizar os componentes criados. Por exemplo, era interessante explorar o tema da realidade aumentada em dispositivos como o Google Glass. Sendo este um dispositivo muito recente e ainda em desenvolvimento, seria interessante estudar a capacidade deste suportar tecnologias mais exigentes a nível computacional. Iriam surgir novos desafios e tentar superá-los, tal como foi feito para o jogo ARZombie, seria cativante.

5.2.2 Algoritmo dinâmico

Outro objetivo passa por desenvolver um algoritmo dinâmico que tem a capacidade de se adaptar de acordo com a proximidade a que o utilizador está das outras pessoas. Este algoritmo pode incorporar os três algoritmos desenvolvidos para o jogo ARZombie de forma a melhorar a eficiência e a precisão tanto da deteção como do reconhecimento de faces. Caso seja necessário, também se poderá desenvolver um novo algoritmo que determina a posição dos olhos de forma mais eficiente e mais precisa.

5.2.3 Interface gráfica

Por último, com auxílio de uma pessoa ou entidade especializada em *design* gráfico, melhorar ainda mais a qualidade gráfica do jogo. Também é importante explorar outras possibilidades de atribuição de pontos, modificando a interação feita entre os jogadores e os *zombies*. Pode-se considerar o desenvolvimento de uma nova forma de lidar com os inimigos, por exemplo lançando poções para curar os *zombies*, em vez de os eliminar com a ajuda de uma arma.

Bibliografia

- [Azu97] R. T. Azuma. "A survey of augmented reality". Em: *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* 6.4 (ago. de 1997), pp. 355–385.
- [Azu99] R. T. Azuma. "The Challenge of Making Augmented Reality Work Outdoors". Em: *In Mixed Reality: Merging Real and Virtual*. Springer-Verlag, 1999, pp. 379–390.
- [BBRS06] R. Ballagas, J. Borchers, M. Rohs e J. G. Sheridan. "The Smart Phone: A Ubiquitous Input Device". Em: *IEEE Pervasive Computing* 5.1 (jan. de 2006), pp. 70–77. ISSN: 1536-1268. DOI: 10.1109/MPRV.2006.18. URL: <http://dx.doi.org/10.1109/MPRV.2006.18>.
- [Barlt] S. P. Barata. *Espelho na Coreia do Sul transforma pessoas em zombies*. <http://imagensdemarca.sapo.pt/atualidade/espelho-na-coreia-do-sul-transforma-pessoas-em-zombies/>. Último acesso: 26/12/2013.
- [BG05] S.-A. Berrani e C. Garcia. "On the Impact of Outliers on High-dimensional Data Analysis Methods for Face Recognition". Em: *Proceedings of the 2Nd International Workshop on Computer Vision Meets Databases*. CVDB '05. Baltimore, MD: ACM, 2005, pp. 43–49. ISBN: 1-59593-151-1. DOI: 10.1145/1160939.1160952. URL: <http://doi.acm.org/10.1145/1160939.1160952>.
- [BB06] R. Byrd e R. Balaji. "Real Time 2-D Face Detection Using Color Ratios and K-mean Clustering". Em: *Proceedings of the 44th Annual Southeast Regional Conference*. ACM-SE 44. Melbourne,

- Florida: ACM, 2006, pp. 644–648. ISBN: 1-59593-315-8. DOI: 10.1145/1185448.1185589. URL: <http://doi.acm.org/10.1145/1185448.1185589>.
- [Chalt] I. Chang. *Moxie Mayhem Augmented Reality Game*. <http://www.moxieinteractive.com/blog/2012/07/19/zombie>. Último acesso: 19/07/2012.
- [CYH08] L.-H. Chen, C.-J. Yu e S.-C. Hsu. “A Remote Chinese Chess Game Using Mobile Phone Augmented Reality”. Em: *Proceedings of the 2008 International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology*. ACE '08. Yokohama, Japan: ACM, 2008, pp. 284–287. ISBN: 978-1-60558-393-8. DOI: 10.1145/1501750.1501817. URL: <http://doi.acm.org/10.1145/1501750.1501817>.
- [CKSLY07] K. Cho, W. Kang, J. Soh, J. Lee e H. S. Yang. “Ghost Hunter: A Handheld Augmented Reality Game System with Dynamic Environment”. Em: *Proceedings of the 6th International Conference on Entertainment Computing*. ICEC'07. Shanghai, China: Springer-Verlag, 2007, pp. 10–15. ISBN: 3-540-74872-5, 978-3-540-74872-4. URL: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2394259.2394262>.
- [CDB11] M. V. Choudhari, M. S. Devi e P. Bajaj. “Face and facial feature detection.” Em: *ICWET*. Ed. por B. K. Mishra. ACM, 2011, pp. 686–689. ISBN: 978-1-4503-0449-8. URL: <http://dblp.uni-trier.de/db/conf/icwet/icwet2011.html#ChoudhariDB11>.
- [CFPSAS11] F. D. Crescenzo, M. Fantini, F. Persiani, L. di Stefano, P. Azzari e S. Salti. “Augmented Reality for Aircraft Maintenance Training and Operations Support.” Em: *IEEE Computer Graphics and Applications* 31.1 (2011), pp. 96–101. URL: <http://dblp.uni-trier.de/db/journals/cga/cga31.html#CrescenzoFPSAS11>.
- [FSL05] F. Fritz, A. Susperregui e M. T. Linaza. “Enhancing Cultural Tourism Experiences with Augmented Reality Technologies”. Em: 6th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology e Cultural Heritage (VAST), nov. de 2005.

- [FLRSCRDM98] H. Fuchs, M. A. Livingston, R. Raskar, A. State, J. R. Crawford, P. Rademacher, S. H. Drake e A. A. Meyer. "Augmented reality visualization for laparoscopic surgery". Em: *In Proceedings of the First International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention*. Springer-Verlag, 1998, pp. 934–943.
- [G1lt] G1. *No mundo, 4 a cada 5 smartphones vendidos rodam o sistema Android*. <http://g1.globo.com/tecnologia/noticia/2013/10/no-mundo-4-cada-5-smartphones-vendidos-rodam-o-sistema-android.html>. Último acesso: 31/10/2013.
- [GJC09] F. Grangeiro, R. Jesus e N. Correia. "Face Recognition and Gender Classification in Personal Memories". Em: *Proceedings of the 2009 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*. ICASSP '09. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2009, pp. 1945–1948. ISBN: 978-1-4244-2353-8. DOI: 10.1109/ICASSP.2009.4959991. URL: <http://dx.doi.org/10.1109/ICASSP.2009.4959991>.
- [Grelt] M. Grego. *Vendas de smartphones já superam as de celulares simples*. <http://exame.abril.com.br/tecnologia/noticias/vendas-de-smartphones-ja-superam-as-de-celulares-simples>. Último acesso: 11/11/2013.
- [Hje01] E. Hjelmås. "Face Detection : A Survey". Em: *Computer Vision and Image Understanding* 83.3 (2001), pp. 236–274. URL: <http://ci.nii.ac.jp/naid/80012624984/en/>.
- [HRBLM07] G. B. Huang, M. Ramesh, T. Berg e E. Learned-Miller. *Labeled Faces in the Wild: A Database for Studying Face Recognition in Unconstrained Environments*. Rel. téc. 07-49. University of Massachusetts, Amherst, 2007.
- [JTV12] dr.ir. J.P. Thalen e dr.ir. M.C. van der Voort. "Facilitating User Involvement in Product Design Through Virtual Reality". Em: *Virtual Reality - Human Computer Interaction*. Ed. por Xin-Xing Tang. InTech, 2012, pp. 17–22. URL: <http://doc.utwente.nl/84794/>.

- [KKRBWT97] D. Koller, G. Klinker, E. Rose, D. Breen, R. Whitaker e M. Tuceryan. "Real-time Vision-based Camera Tracking for Augmented Reality Applications". Em: *Proceedings of the ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*. VRST '97. Lausanne, Switzerland: ACM, 1997, pp. 87–94. ISBN: 0-89791-953-X. DOI: 10.1145/261135.261152. URL: <http://doi.acm.org/10.1145/261135.261152>.
- [LJC11] A. Lameira, R. Jesus e N. Correia. "Real-time Object Recognition Using Mobile Devices". Em: *Proceedings of the 13th International Conference on Human Computer Interaction with Mobile Devices and Services*. MobileHCI '11. Stockholm, Sweden: ACM, 2011, pp. 687–690. ISBN: 978-1-4503-0541-9. DOI: 10.1145/2037373.2037485. URL: <http://doi.acm.org/10.1145/2037373.2037485>.
- [Lee12] K. Lee. "Augmented Reality in Education and Training". Em: *TechTrends* 56.2 (jan. de 2012), pp. 13–21. ISSN: 8756-3894. DOI: 10.1007/s11528-012-0559-3. URL: <http://dx.doi.org/10.1007/s11528-012-0559-3>.
- [LP08] M. Lee e C. H. Park. "An Efficient Image Normalization Method for Face Recognition Under Varying Illuminations". Em: *Proceedings of the 1st ACM International Conference on Multimedia Information Retrieval*. MIR '08. Vancouver, British Columbia, Canada: ACM, 2008, pp. 128–133. ISBN: 978-1-60558-312-9. DOI: 10.1145/1460096.1460119. URL: <http://doi.acm.org/10.1145/1460096.1460119>.
- [LRBSJBIAM11] M. A. Livingston, L. J. Rosenblum, D. G. Brown, G. S. Schmidt, S. J. Julier, Y. Baillot, J. E. S. II, Z. Ai e P. Maassel. "Military Applications of Augmented Reality." Em: *Handbook of Augmented Reality*. Ed. por B. Furht. Springer, 2011, pp. 671–706. ISBN: 978-1-4614-0063-9. URL: <http://dblp.uni-trier.de/db/books/daglib/0027797.html#LivingstonRBSJBSAM11>.
- [LP09] J. Lu e K. Plataniotis. "On conversion from color to gray-scale images for face detection". Em: *2012 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops* 0 (2009), pp. 114–119. DOI: <http://doi.ieeecomputersociety.org/10.1109/CVPR.2009.5204297>.

- [Mac] B. MacIntyre. *ARHRRRR!* <http://blairmacintyre.me/project/arhrrrr/>.
- [MMR02] S. Malik, C. McDonald e G. Roth. "Hand Tracking for Interactive Pattern-Based Augmented Reality". Em: *Proceedings of the 1st International Symposium on Mixed and Augmented Reality*. ISMAR '02. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2002, pp. 117–. ISBN: 0-7695-1781-1. URL: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=850976.854952>.
- [NF02] L. Naimark e E. Foxlin. "Circular Data Matrix Fiducial System and Robust Image Processing for a Wearable Vision-Inertial Self-Tracker". Em: *Proceedings of the 1st International Symposium on Mixed and Augmented Reality*. ISMAR '02. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2002, pp. 27–. ISBN: 0-7695-1781-1. URL: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=850976.854961>.
- [NLL04] T. Nilsen, S. Linton e J. Looser. "Motivations for Augmented Reality Gaming". Em: *FUSE 04, New Zealand Game Developers Conference*. Vol. 4. 2004, pp. 86–93.
- [OSYT98] T. Ohshima, K. Satoh, H. Yamamoto e H. Tamura. "AR2 Hockey: A Case Study of Collaborative Augmented Reality". Em: *Proceedings of the Virtual Reality Annual International Symposium*. VRAIS '98. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 1998, pp. 268–. ISBN: 0-8186-8362-7. URL: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=522258.836145>.
- [Plalt] J. Plafke. *Disney uses pico projector to bring its magic to augmented reality storybooks, games*. <http://www.extremetech.com/extreme/161559-disney-uses-pico-projector-to-bring-its-magic-to-augmented-reality-storybooks-games>. Último acesso: 17/07/2013.
- [SFLRW05] U. Sargaana, H. S. Farahani, J. W. Lee, J. Ryu e W. Woo. "Collaborative billiARds: Towards the Ultimate Gaming Experience". Em: *Proceedings of the 4th International Conference on Entertainment Computing*. ICEC'05. Sanda, Japan: Springer-Verlag, 2005, pp. 357–367. ISBN: 3-540-29034-6, 978-3-540-29034-6. DOI: 10.1007/11558651_35. URL: http://dx.doi.org/10.1007/11558651_35.

- [SMG05] R. Subbarao, P. Meer e Y. Genc. "A Balanced Approach to 3D Tracking from Image Streams". Em: *Proceedings of the 4th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*. ISMAR '05. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2005, pp. 70–78. ISBN: 0-7695-2459-1. DOI: 10.1109/ISMAR.2005.1. URL: <http://dx.doi.org/10.1109/ISMAR.2005.1>.
- [TCGXCBGPG08] G. Takacs, V. Chandrasekhar, N. Gelfand, Y. Xiong, W.-C. Chen, T. Bismptgiannis, R. Grzeszczuk, K. Pulli e B. Girod. "Outdoors Augmented Reality on Mobile Phone Using Loxel-based Visual Feature Organization". Em: *Proceedings of the 1st ACM International Conference on Multimedia Information Retrieval*. MIR '08. Vancouver, British Columbia, Canada: ACM, 2008, pp. 427–434. ISBN: 978-1-60558-312-9. DOI: 10.1145/1460096.1460165. URL: <http://doi.acm.org/10.1145/1460096.1460165>.
- [TCDSBP02] B. Thomas, B. Close, J. Donoghue, J. Squires, P. D. Bondi e W. Piekarski. "First Person Indoor/Outdoor Augmented Reality Application: ARQuake". Em: *Personal Ubiquitous Comput.* 6.1 (jan. de 2002), pp. 75–86. ISSN: 1617-4909. DOI: 10.1007/s007790200007. URL: <http://dx.doi.org/10.1007/s007790200007>.
- [Tho12] B. H. Thomas. "A Survey of Visual, Mixed, and Augmented Reality Gaming". Em: *Comput. Entertain.* 10.3 (dez. de 2012), 3:1–3:33. ISSN: 1544-3574. DOI: 10.1145/2381876.2381879. URL: <http://doi.acm.org/10.1145/2381876.2381879>.
- [TP91] M. Turk e A. Pentland. "Eigenfaces for Recognition". Em: *J. Cognitive Neuroscience* 3.1 (jan. de 1991), pp. 71–86. ISSN: 0898-929X. DOI: 10.1162/jocn.1991.3.1.71. URL: <http://dx.doi.org/10.1162/jocn.1991.3.1.71>.
- [VKP10] D. Van Krevelen e R Poelman. "A survey of augmented reality technologies, applications and limitations". Em: *International Journal of Virtual Reality* 9.2 (2010), p. 1.
- [VJ04] P. Viola e M. J. Jones. "Robust Real-Time Face Detection". Em: *Int. J. Comput. Vision* 57.2 (mai. de 2004), pp. 137–154. DOI: 10.1023/B:VISI.0000013087.49260.fb. URL:

- <http://dx.doi.org/10.1023/B:VISI.0000013087.49260.fb>.
- [VJlt] P. Viola e M. J. Jones. *Robust real-time face detection*. http://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=pt-PT&user=G2-nFaIAAAAJ&citation_for_view=G2-nFaIAAAAJ:u-x6o8ySG0sC. Último acesso: 15/09/2014.
- [Vollt] K. Voleti. *Augmented/Geo reality Zombie invasion mobile game demo*. <http://www.realareal.com/videos/augmentedgeo-reality-zombie-invasion-mobile-game-demo>. Último acesso: 26/12/2013.
- [WY06] Q. Wang e J. Yang. "Eye Location and Eye State Detection in Facial Images with Unconstrained Background". Em: *Journal of Information and Computing Science* 1.5 (2006), pp. 284–289.
- [XLYZ14] Y. Xu, X. Li, J. Yang e D. Zhang. "Integrate the Original Face Image and Its Mirror Image for Face Recognition". Em: *Neurocomput.* 131 (mai. de 2014), pp. 191–199. ISSN: 0925-2312. DOI: 10.1016/j.neucom.2013.10.025. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.neucom.2013.10.025>.
- [Yua04] C. Yuan. "Simultaneous Tracking of Multiple Objects for Augmented Reality Applications". Em: *Proceedings of the Seventh Eurographics Conference on Multimedia*. EGMM'04. Nanjing, China: Eurographics Association, 2004, pp. 41–47. ISBN: 3-905673-17-7. DOI: 10.2312/EGMM/MM04/041-047. URL: <http://dx.doi.org/10.2312/EGMM/MM04/041-047>.
- [ZCPR03] W. Zhao, R. Chellappa, P. J. Phillips e A. Rosenfeld. "Face Recognition: A Literature Survey". Em: *ACM Comput. Surv.* 35.4 (dez. de 2003), pp. 399–458. ISSN: 0360-0300. DOI: 10.1145/954339.954342. URL: <http://doi.acm.org/10.1145/954339.954342>.
- [ZDB08] F. Zhou, H. B.-L. Duh e M. Billinghurst. "Trends in Augmented Reality Tracking, Interaction and Display: A Review of Ten Years of ISMAR". Em: *Proceedings of the 7th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*. ISMAR '08. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2008, pp. 193–202. ISBN: 978-1-4244-2840-3. DOI: 10.1109/ISMAR.

2008.4637362. URL: <http://dx.doi.org/10.1109/ISMAR.2008.4637362>.

[ZC01]

Q. Zhu e J. Chen. "A New Approach for Rotated Face Detection". Em: *Proceedings of the Ninth ACM International Conference on Multimedia*. MULTIMEDIA '01. Ottawa, Canada: ACM, 2001, pp. 537–539. ISBN: 1-58113-394-4. DOI: 10.1145/500141.500235. URL: <http://doi.acm.org/10.1145/500141.500235>.



Questionário

ARZombie - Questionário

*Obrigatório

1. Sexo *

☐ M
☐ F

2. Idade *

.....

3. Está familiarizado com jogos de realidade aumentada? *

☐ Sim
☐ +/-
☐ Não

Aprendizagem

4. É fácil aprender a jogar. *

	1	2	3	4	5	
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo totalmente

5. É fácil interagir com o jogo. *

	1	2	3	4	5	
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo totalmente

6. Adaptou-se facilmente ao jogo. *

	1	2	3	4	5	
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo totalmente

7. **É necessário ajuda para interagir com a aplicação. ***

	1	2	3	4	5	
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo totalmente

8. **A aplicação está bem estruturada. ***

	1	2	3	4	5	
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo totalmente

Movimentação

9. **Foi capaz de se movimentar livremente no decorrer no jogo. ***

	1	2	3	4	5	
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo totalmente

10. **As interações com o jogo são naturais. ***

	1	2	3	4	5	
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo totalmente

Informação

11. **Os aspetos visuais envolveram-no durante o jogo. ***

	1	2	3	4	5	
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo totalmente

12. **Os aspetos sonoros envolveram-no durante o jogo. ***

	1	2	3	4	5	
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo totalmente

13. **Estava ciente da informação presente no ecrã do dispositivo. ***

	1	2	3	4	5	
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo totalmente

14. **Os elementos visíveis presentes no ecrã no decorrer do jogo eram distrativos. ***

	1	2	3	4	5	
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo totalmente

15. **Concentrou-se mais no jogo e não na forma de disparar. ***

	1	2	3	4	5	
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo totalmente

Deteção

16. **Os zombies são facilmente detetados enquanto se deslocam no cenário. ***

	1	2	3	4	5	
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo totalmente

17. **Os bónus são facilmente detetados quando surgem no cenário. ***

	1	2	3	4	5	
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo totalmente

Controlo

18. **Foi capaz de eliminar zombies sem dificuldades. ***

	1	2	3	4	5	
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo totalmente

19. Foi capaz de ativar os bónus sem dificuldades. *

	1	2	3	4	5	
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo totalmente

20. É confortável utilizar o modo de disparo automático. *

	1	2	3	4	5	
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo totalmente

21. É confortável utilizar o modo de disparo manual. *

	1	2	3	4	5	
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo totalmente

Equilíbrio

22. É equilibrada a forma como se ganham pontos e se perde vida. *

	1	2	3	4	5	
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo totalmente

23. O nível de dificuldade do jogo é adequado *

	1	2	3	4	5	
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo totalmente

Resposta

24. A aplicação responde rapidamente. *

	1	2	3	4	5	
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo totalmente

25. Houve alguma demora entre as suas interações e a resposta a nível do jogo. *

	1	2	3	4	5	
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo totalmente

Para terminar...

26. Satisfação geral com o jogo. *

	1	2	3	4	5	
Muito insatisfeito	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Muito satisfeito

27. Sugestões/Observações:

.....

.....

.....

.....

.....

Com tecnologia





Resultados

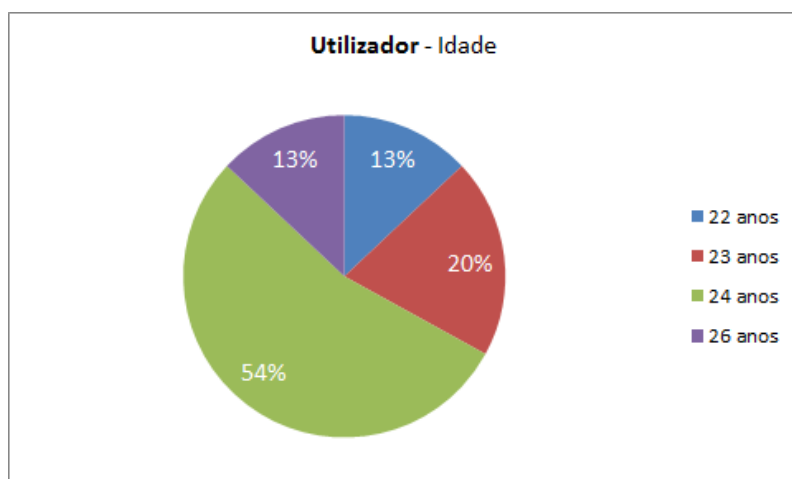


Figura B.1: Questionário - Idade.

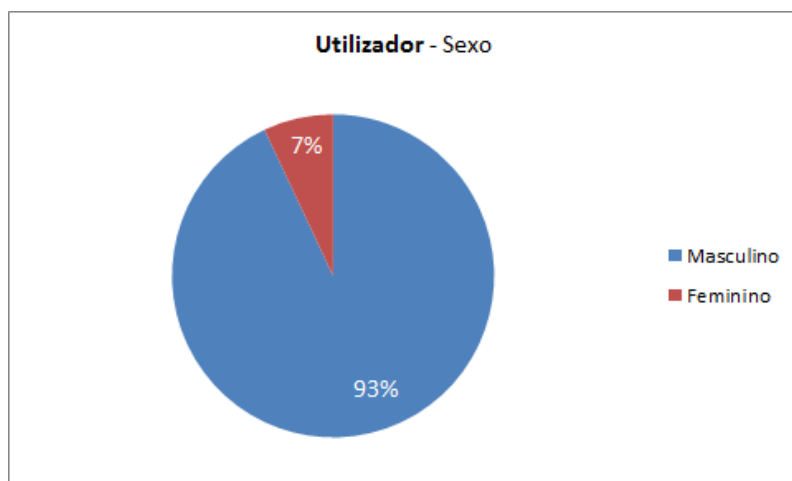


Figura B.2: Questionário - Sexo.

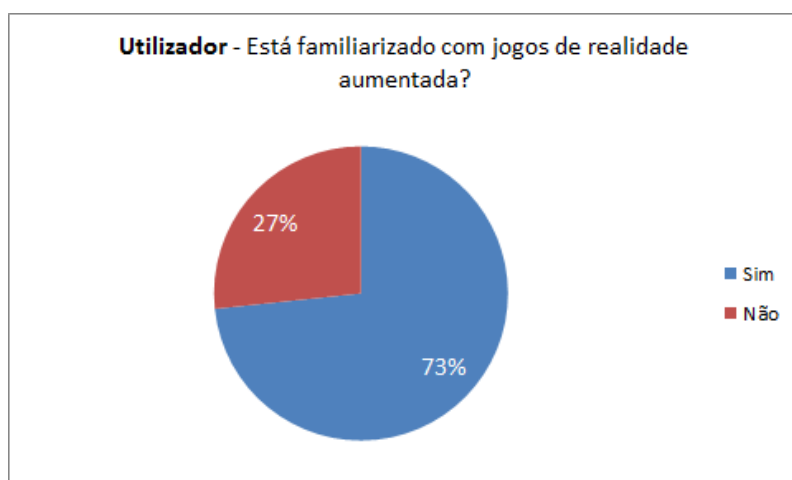


Figura B.3: Questionário - Familiarização com jogos de realidade aumentada.

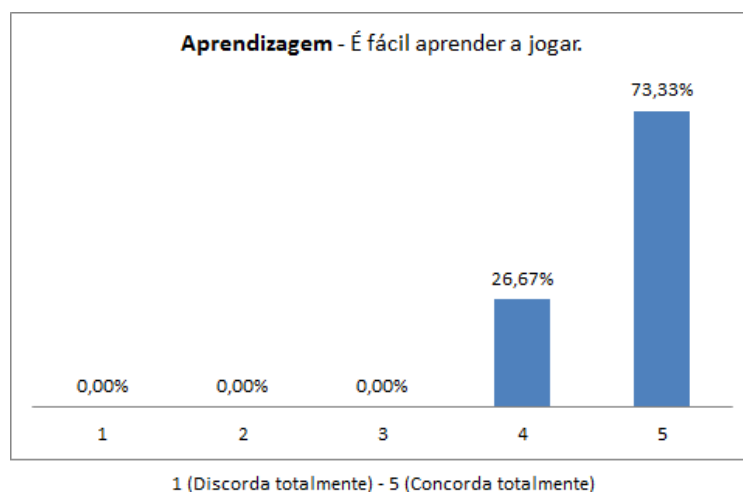


Figura B.4: Questionário - É fácil aprender a jogar.

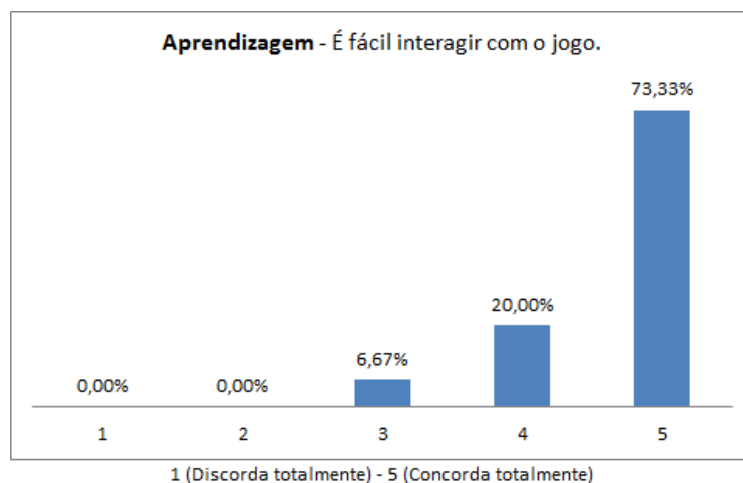


Figura B.5: Questionário - É fácil interagir com o jogo.

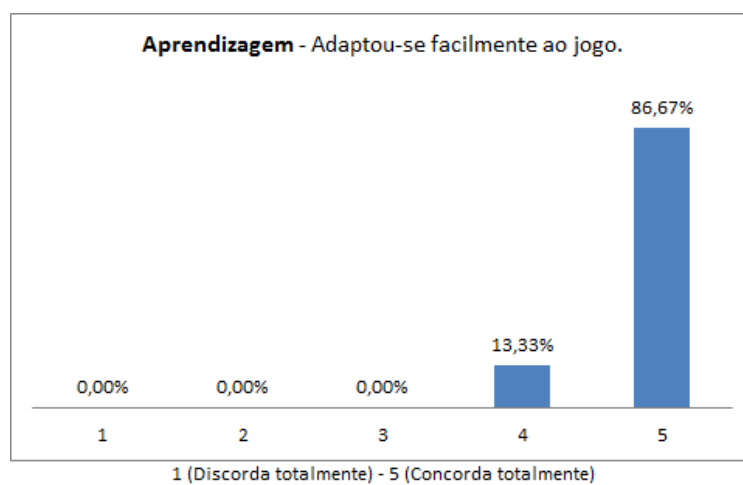


Figura B.6: Questionário - Adaptou-se facilmente ao jogo.

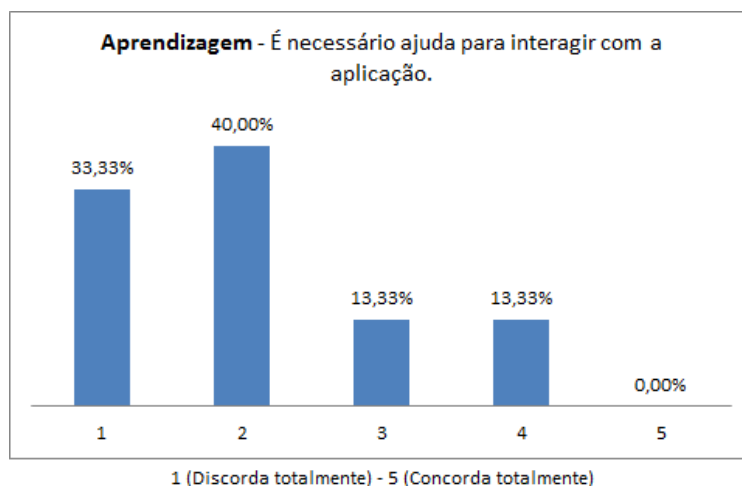


Figura B.7: Questionário - É necessário ajuda para interagir com a aplicação.

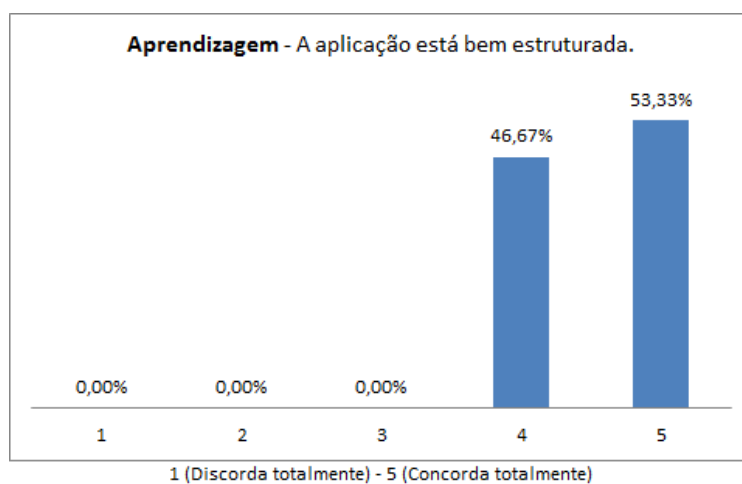


Figura B.8: Questionário - A aplicação está bem estruturada.

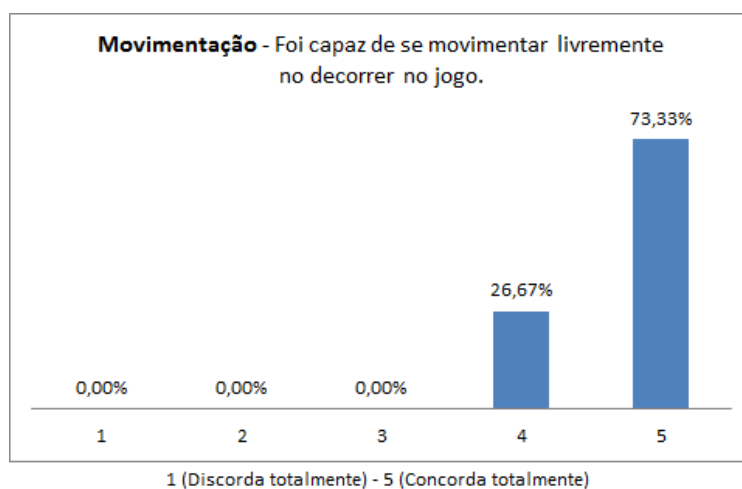


Figura B.9: Questionário - Foi capaz de se movimentar livremente no decorrer no jogo.

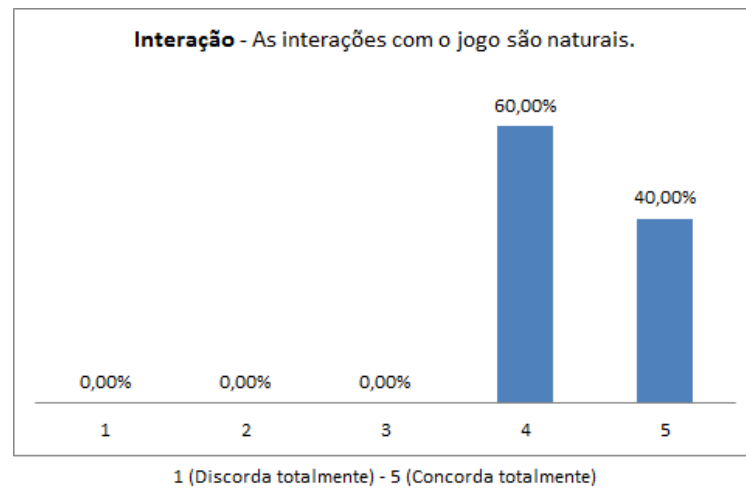


Figura B.10: Questionário - As interações com o jogo são naturais.

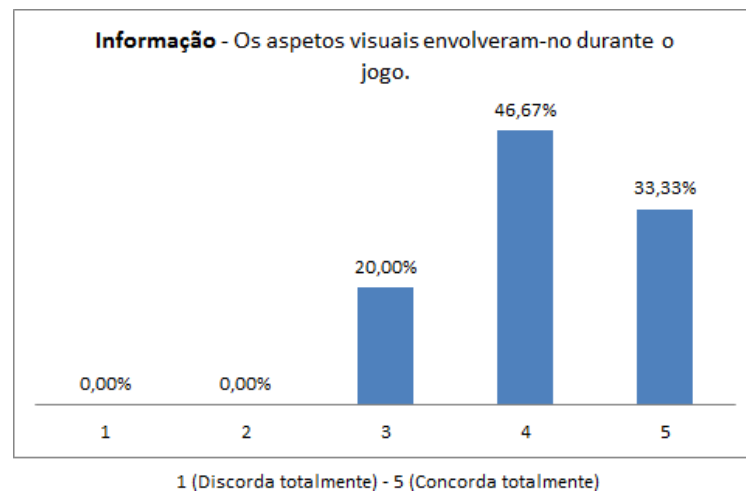


Figura B.11: Questionário - Os aspetos visuais envolveram-no durante o jogo.

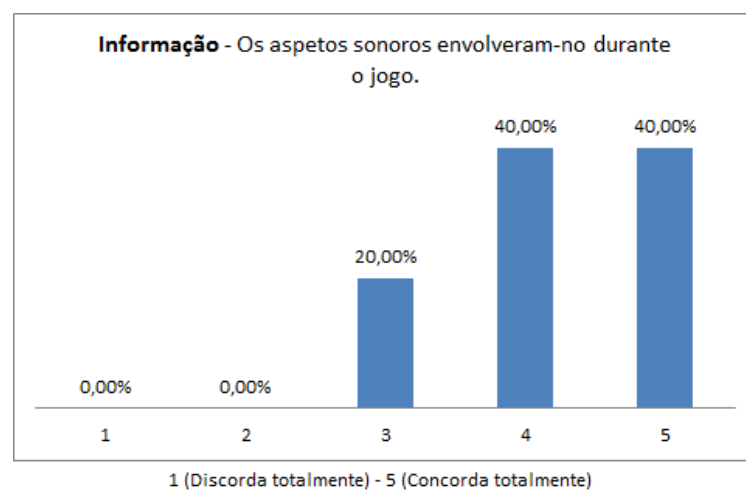


Figura B.12: Questionário - Os aspetos sonoros envolveram-no durante o jogo.

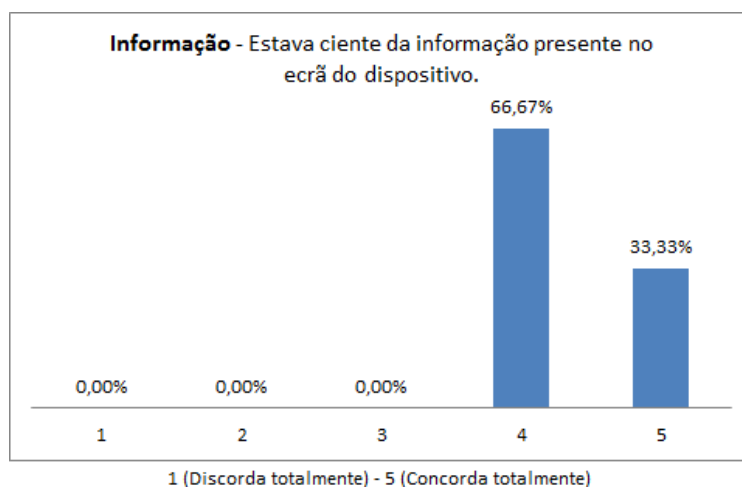


Figura B.13: Questionário - Estava ciente da informação presente no ecrã do dispositivo.

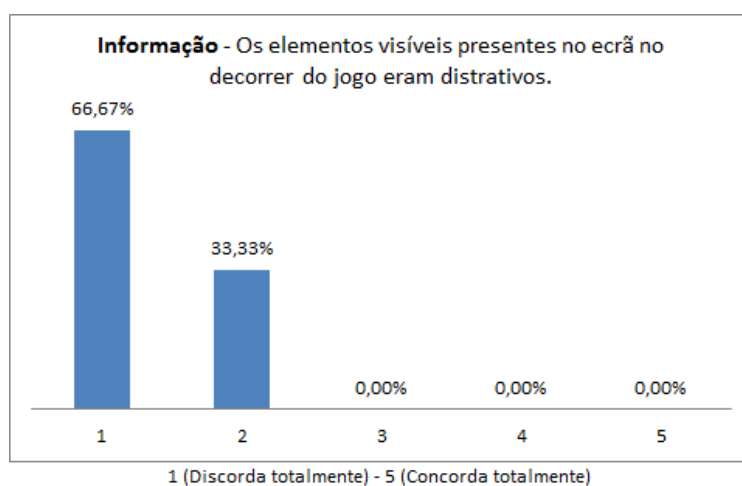


Figura B.14: Questionário - Os elementos visíveis presentes no ecrã no decorrer do jogo eram distrativos.

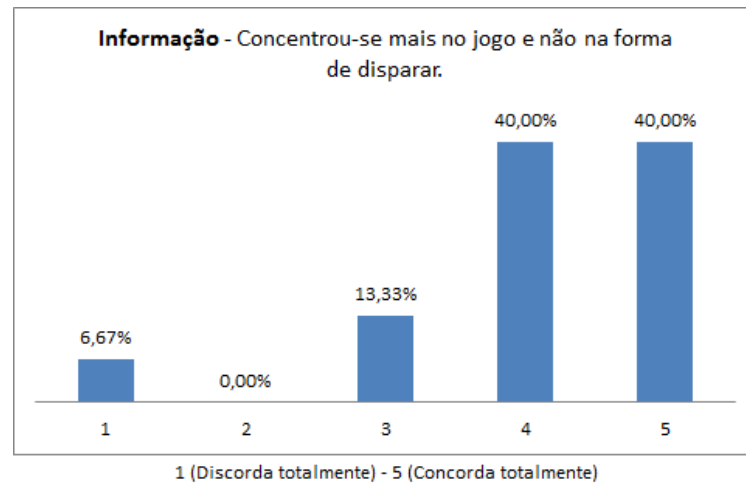


Figura B.15: Questionário - Concentrou-se mais no jogo e não na forma de disparar.

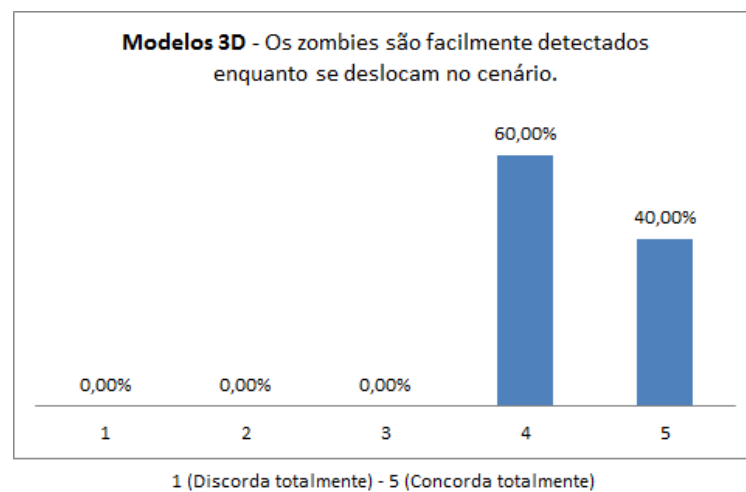


Figura B.16: Questionário - Os *zombies* são facilmente detetados enquanto se deslocam no cenário.

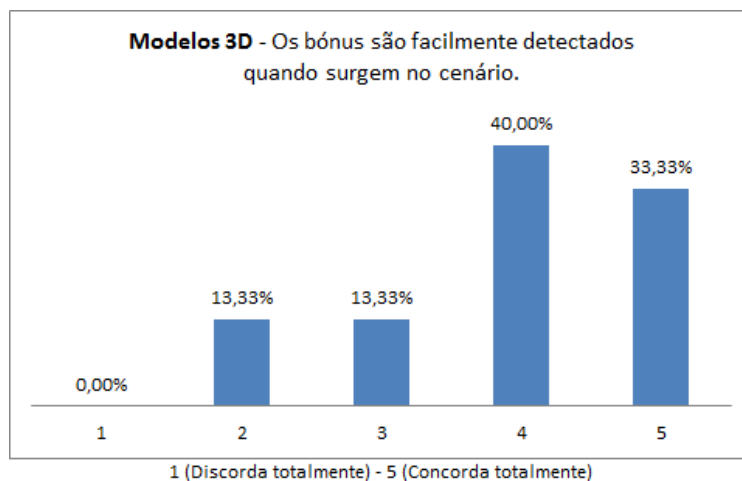


Figura B.17: Questionário - Os bônus são facilmente detetados quando surgem no cenário.

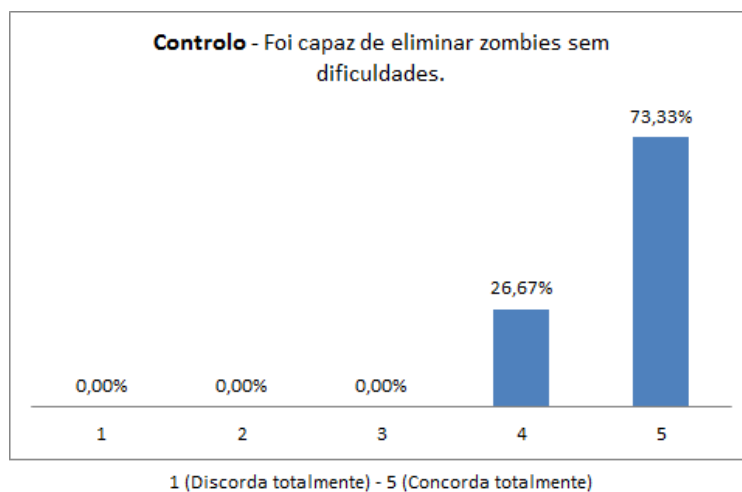


Figura B.18: Questionário - Foi capaz de eliminar *zombies* sem dificuldades.

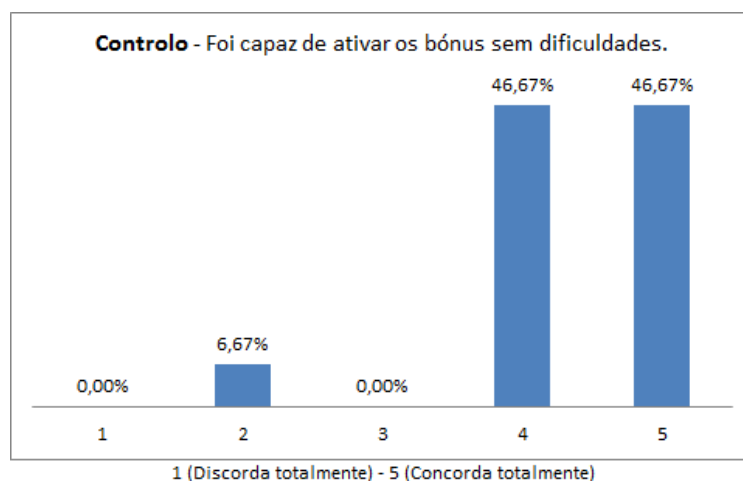


Figura B.19: Questionário - Foi capaz de ativar os bónus sem dificuldades.

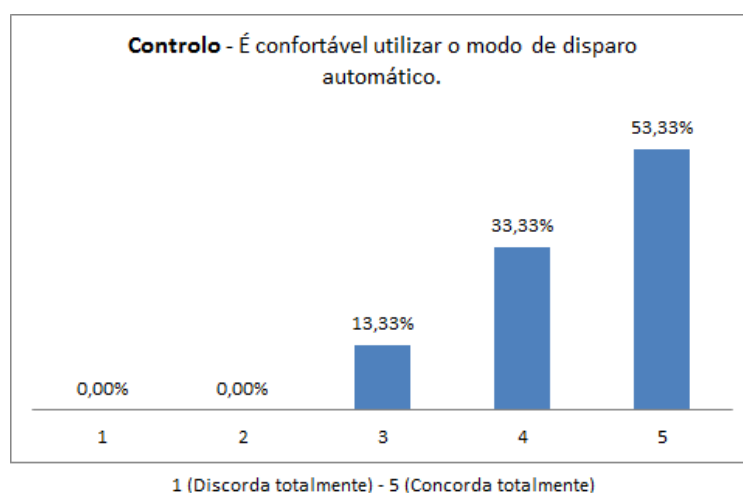


Figura B.20: Questionário - É confortável utilizar o modo de disparo automático.

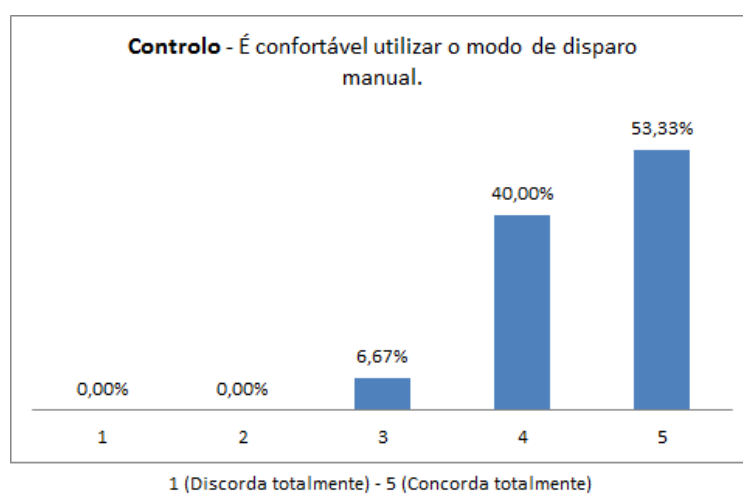


Figura B.21: Questionário - É confortável utilizar o modo de disparo manual.

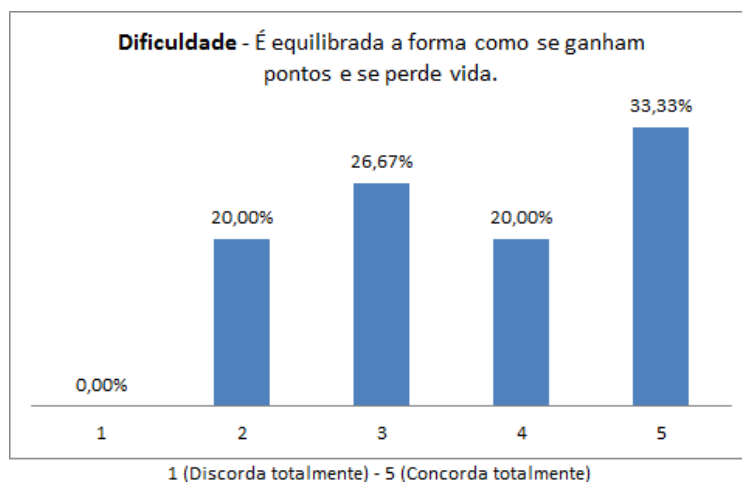


Figura B.22: Questionário - É equilibrada a forma como se ganham pontos e se perde vida.

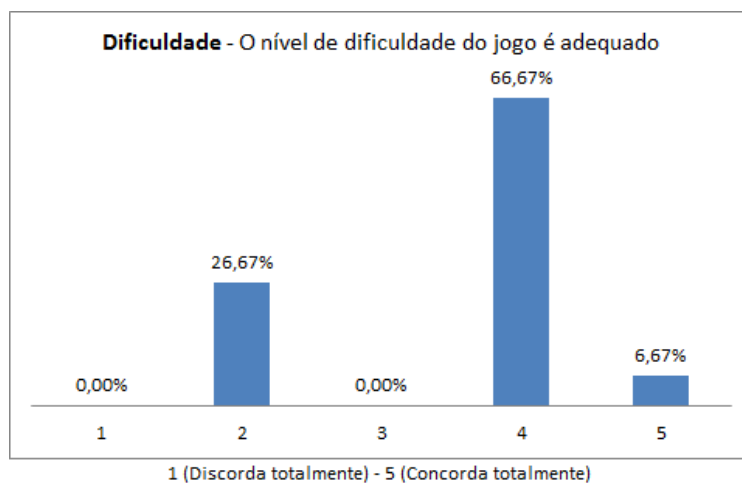


Figura B.23: Questionário - O nível de dificuldade do jogo é adequado.

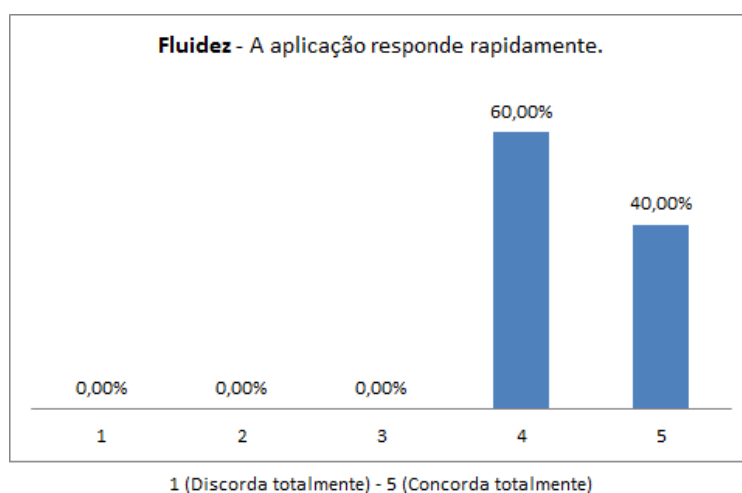


Figura B.24: Questionário - A aplicação responde rapidamente.

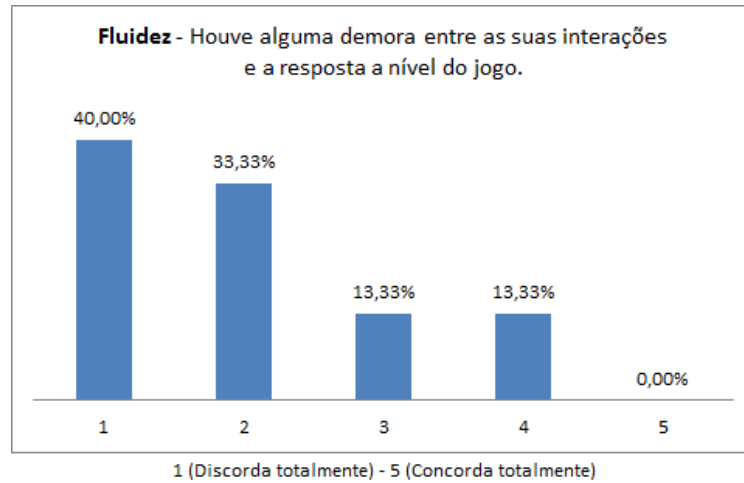


Figura B.25: Questionário - Houve alguma demora entre as suas interações e a resposta a nível do jogo.

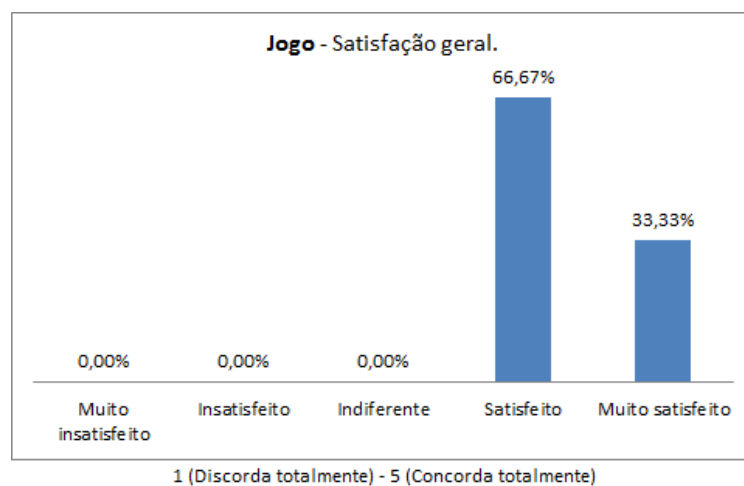


Figura B.26: Questionário - Satisfação geral com o jogo.